

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Modelování jasových poměrů na
komunikacích
(Luminance conditions modelling on the
streets)

2010

Bc. Marek Klimas

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Ing. Tomáši Novákovi, Ph.D. a dále pak Prof. Ing. Karlu Sokanskému, Csc. za odbornou asistenci při zpracování této práce, a celkový odborný dohled při tvorbě mé diplomové práce. Současně bych rád poděkoval Ing. Petru Zawadovi za odbornou pomoc a cenné rady při realizaci praktické části této diplomové práce.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 7. 5. 2010

.....

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá problematikou veřejného osvětlení komunikací s pohledu jasových poměrů. Teoretickou část tvoří informace o světelných zdrojích a svítidlech používaných ve veřejném osvětlení, dále pak praktický příklad výpočtu osvětlení komunikací pomocí programu Relux professional i hodnocení oslnění a možnosti jeho omezení.

Primárním úkolem této diplomové práce bylo však zjištění, do jaké míry ovlivňují dálková a potkávací světla automobilů jasové poměry na komunikacích ve výhledovém poli řidiče. Proto práce obsahuje i stručný popis teorie automobilových světlometů a praktickou část tvoří vyhodnocování měření komunikace pomocí speciálního měřicího zařízení pro měření jasů LMK mobile advance.

Klíčová slova: jas, veřejné osvětlení, automobilové světlomety, oslnění

Abstract

This thesis deals with a problem of public lighting of communications in fact of the luminance ratios. Theoretical part is consists of information about light sources and luminaries used in public lightning, as well as a practical example of calculating of the traffic light assistance program Relux Professional and evaluation of glare and its possible limitations.

The primary task of this thesis was finding, however affect the extent to which long distance and the paging lights of cars on the road luminance ratios at the prospect of the driver. Therefore the work contains a brief description of the theory of automobile headlamps, and a practical part consists of evaluating the measurement of communication by using a special measuring device for measuring the luminance LMK mobile advance.

Key words: luminance, public lighting, car headlights, glare

Seznam symbolů a zkratk:

Φ	světelný tok (lm)
<i>atd.</i>	a tak dále
<i>apod.</i>	a podobně
<i>CPIT</i>	Centrum pokročilých informačních technologií
E_m	udržovaná osvětlenost (lx)
E_m	minimální osvětlenost (lx)
E_m	maximální osvětlenost (lx)
<i>GR</i>	činitel oslnění (-)
<i>I</i>	svítivost (cd)
<i>L</i>	jas ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$)
L_v	závojevý jas ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$)
L_{VE}	ekvivalentní závojevý jas ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$)
<i>LED</i>	světlo-vyzařující dioda
<i>např.</i>	například
obr.	Obrázek
resp.	respektive
<i>Ra</i>	index barevného podání (-)
<i>TI</i>	prahový přírůstek (-)
U_0	celková rovnoměrnost ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$)
U_i	podélná rovnoměrnost ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$)

Obsah

1. Úvod.....	7
2. Světelné zdroje, svítidla a výpočetní metody pro osvětlování komunikací.	8
2. 1 Světelné zdroje	8
2. 1. 1. Výbojové světelné zdroje	9
2. 1. 2. Světelné diody	13
2. 2 Svítidla	14
2. 2. 1. . Kriteria pro volbu svítidel	14
2. 2. 2. Třídění svítidel podle rozdělení světelného toku	14
2. 2. 3. Základní principy usměrnění světelného toku.....	15
2. 2. 4. Přehled stupňů ochrany krytím za značkou IP	15
2. 2. 5. Typy osvětlovacích soustav silničních komunikací	16
2. 3 Výpočet jasů na komunikacích	18
2. 3. 1. Výpočet jasů v bodě	18
2. 3. 2. Pole pro výpočet jasů	18
2. 3. 3. Umístění výpočtových bodů.....	19
3. Výpočty jasových poměrů na reálných komunikacích	20
3. 1 . Postup odvození požadavků na osvětlení.....	20
3. 2 Hodnocení parametrů	22
3. 3 Relevantní oblasti	22
3. 4 Výpočet jasových poměrů na komunikaci pomocí programu Relux Professional.....	23
4. Vliv automobilových světlometů na jasové poměry v pohledovém poli řidiče	27
4. 1 Teorie automobilových světlometů	27
4. 1. 1. Dálkový světlomet.....	27
4. 1. 2. Potkávací světlomet.....	28
4. 2 Vliv automobilových světlometů	30
5. Měření jasových poměrů na vybraných komunikacích.....	35
5. 1 Popis měřené oblasti.....	35
5. 2 Měření komunikace dle normy ČSN 13201	36
5. 3 Programové vybavení.....	37
5. 4 Vyhodnocení měření	Chyba! Záložka není definována.
5. 5 Zhodnocení.....	44
6. Oslnění.....	45
6. 1 Druhy oslnění v dopravě	45
6. 2 Výpočet oslnění.....	45
6. 2. 1. Činitel oslnění GR.....	45
6. 2. 2. Prahový přírůstek (TI)	46
6. 3 Možnosti omezení oslnění.....	47
7. Závěr	48
8. Seznam použité literatury.....	50
9. Přílohy	51

1. Úvod

Z hlediska bezpečnosti provozu je správně navržené osvětlení komunikací nesmírně důležité. Cílem správně navrženého osvětlení komunikací je dosažení co nejefektivnější instalace osvětlovacích soustav jak z hlediska technického tak i z ekonomického. Osvětlení komunikací se však navrhuje bez uvažování příspěvku automobilových světlometů. V této práci je tedy prověřováno do jaké míry automobilové světlomety ovlivňují světelně technické parametry (především jasy) osvětlené vozovky, ve výhledovém poli řidiče.

Diplomová práce je členěna s ohledem na zadání do logicky následujících kapitol. První kapitola se zabývá světelnými zdroji a svítidly používaný ve veřejném osvětlení a teoretickým postupem pro výpočet jasů na komunikacích.

Další kapitola přibližuje problematiku zatřídění komunikací a obsahuje ukázkou praktického výpočtu na reálných komunikacích pomocí výpočtového programu Relux professional 2007.

V následujících dvou kapitolách je zpracováno a grafický vyhodnoceno měření komunikace mezi budovami CPIT, na které byly zkoumané vlivy automobilových světlometů na hodnoty jasů.

Poslední kapitola se stručně zabývá problematikou oslnění, jeho výpočtem a možnostmi jeho omezení.

2. Světelné zdroje, svítidla a výpočetní metody pro osvětlování komunikací.

2. 1 Světelné zdroje

Světelné zdroje jsou základním prvkem osvětlovacích soustav. Jsou to zařízení, která vysílají elektromagnetické záření především v oblasti viditelného světla. Předmět (resp. jeho povrch) vyzařující světlo, jež vzniklo přeměnou energie v něm samém, nazýváme primárním světelným zdrojem. Sekundárním zdrojem je pak předmět (povrch), který světelné paprsky alespoň z částí odráží nebo propouští. Pro osvětlování jsou nejdůležitější elektrické světelné zdroje, v nichž přeměnou elektrické energie vzniká světlo. K tomuto ději může docházet těmito způsoby:

- inkandescenci,
- vybuzením atomů plynu nebo par kovů v elektromagnetickém poli,
- luminiscenci pevných látek,
- emisi fotonu při průchodu proudu polovodičovým přechodem.

Inkandescence

Je to vyzařování světla, způsobené tepelným buzením, Vzniká průchodem elektrického proudu pevnou vodivou látkou s vysokou teplotou tání např. wolfram, platina, atd. Pevná látka se rozzhává na požadovanou teplotu, při které dochází k emisi viditelného záření. Na tomto principu pracují klasické žárovky s wolframovým vláknem.

Vybuzení atomů plynu nebo kovů v elektromagnetickém poli

Jedná se v podstatě o přeměnu elektrické energie na kinetickou energii elektronů. Vybuzené elektrony se srážejí s molekulami plynů (halogenidy) nebo par kovů (sodík, rtuť, atd.), což způsobuje emisi optického záření. Na tomto principu pracují výbojky.

Luminiscence

Jedná se o vybuzení a následném odbuzení atomů vhodných plynů, par kovů, pevných látek. Tato vhodná látka vysílá záření, jehož intenzita je větší než teplotní záření hmoty za stejné teploty. Dochází k transformaci ultrafialového záření na záření viditelné pomocí luminoforu. Na tomto principu pracují zářivky.

Emise fotonu

Prochází-li PN přechodem polovodičové součástky elektrický proud v propustném směru, přechod vyzařuje světlo v úzkém spektru. Na tomto principu pracují LED diody.[1]

Světelné zdroje ve veřejném osvětlení

Světelné zdroje pro veřejné osvětlení z hlediska technického i ekonomického musí splňovat především tyto parametry:

- vysoký měrný výkon ($< 100 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$)
- dlouhou dobu života ($< 20\,000 \text{ h}$)
- co nejvyšší index barevného podání
- geometrické rozměry
- co nejnižší pořizovací cenu

Těmto parametrům nejlépe vyhovují především výbojové světelné zdroje, jenž plně nahradily v minulosti používané teplotní zdroje. Avšak zdrojem budoucnosti při rychlosti nástupu polovodičových technologií se zdají být světelné zdroje na bázi LED diod[6].



Tab. 2.1.: Rozdělení světelných zdrojů ve VO

2. 1. 1. Výbojové světelné zdroje

Vysokotlaké sodíkové výbojky

Vysokotlaké sodíkové výbojky jsou světelné zdroje, v nichž světlo vzniká hlavně zářením sodíkových par s pracovním tlakem v rozmezí 3 až 60 kPa. Hořák je zhotoven z průsvitného korundu. Trubice je na obou koncích uzavřena proudovými průchodkami různého

provedení, které jsou ke korundové trubici připájeny pomocí skelné pájky. Průchodky musí odolávat dlouhodobému působení sodíkových a rtuťových par při vysokých pracovních teplotách a velkým teplotním nárazům při zapínání a vypínání výbojky. K čelu niobové průchodky je pomocí titanu připájena wolframová elektroda, na níž je nanесena emisní vrstva na bázi wolframu barya. Polohou elektrody v hořáku lze regulovat teplotu prostoru za elektrodami. Tato teplota určuje tlak par sodíku v hořáku, a tím i základní elektrické a světelné parametry výbojky. Rtuť se sodíkem se do hořáku dává v podobě amalgámu příslušného složení. Hořák se plní inertním plynem. Z hlediska měrného výkonu je nejvhodnější xenon, protože zajišťuje nejmenší teplotní ztráty ve výboji a největší měrný výkon. Hořák je vložen do vnější baňky, vyčerpané na vysoké vakuum, které snižuje tepelné ztráty hořáku a současně chrání niobové průchodky před oxidací. Sortiment vysokotlakých sodíkových výbojek je velmi široký a pohybuje se v příkonových řadách od 50-ti W do 1000W.

Vysokotlaké sodíkové výbojky mají dominantní postavení ve světelných zdrojích pro veřejného osvětlení. Tyto světelné zdroje postupně nahradily méně účinné výbojky rtuťové. Použitím vysokotlakých sodíkových výbojek se na jednotlivých světelných místech výrazně snížil instalovaný příkon. Vysokotlaké sodíkové výbojky jsou vhodné pro osvětlování veškerých komunikací, pěších zón i osvětlování fasád objektů. Výhody vysokotlakých sodíkových výbojek jsou vysoký měrný výkon (až 150 lm/W) a střední doba života (až 32 000 h). Určitou nevýhodou těchto zdrojů je nízký index podání barev ($R_a=25$). Pro veřejné osvětlení se dnes používají vysokotlaké sodíkové výbojky nízkých příkonů, a to v obcích 50 W a 70 W, na průtahu 100 W a 150 W, ve městech také do 150 W a na širokých výpadovkách až 250 W.[5,6]



Obr. 2.1 Vysokotlaká sodíková výbojka



Obr. 2.2 Vysokotlaká rtuťová výbojka

Vysokotlaké rtuťové výbojky

Viditelné záření vzniká u těchto zdrojů obloukovým výbojem v parách rtuti při tlaku 0,1MPa ve výbojové trubici z křemenného skla. Toto záření se transformuje pomocí luminoforu do viditelné oblasti. Hlavní elektrody tvoří wolframový drát pokrytý emisní vrstvou kysličníku barya, stroncia a vápníku. Vysokotlaké rtuťové výbojky vyzařují do viditelné oblasti asi 15% přivedené energie, jejich světlo je modrobílé a modrozelené. Červená složka světla chybí a z

tohoto důvodu se nanáší na vnitřní stěnu venkovní baňky ortofosfátový luminofor pro zabezpečení transformace UV záření do červené oblasti spektra. K ustálení výboje rtuťových výbojek dochází až po 3 – 5 minutách. Po přerušení výboje dojde k opětovnému znovuzapálení až po 7 minutách. Výhodou těchto výbojek je malý pokles světelného toku během života, odolnost proti změnám teploty, odolnost proti otřesům a menší poruchovost v důsledku menšího počtu kontaktů ve srovnání se zářivkami. Doba života je až 12 000 až 15 000 hod, index barevného podání $R_a = 50$, měrný výkon 50 až 80 $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$.

Používají se pro osvětlení v pěších zónách, v zahradách, v parcích, nákupních pasážích a veřejných prostorech. Přesto, že podíl těchto výbojek ve spotřebě postupně klesá a jsou nahrazovány účinnějšími halogenidovými a zejména vysokotlakými sodíkovými výbojkami, lze očekávat jejich používání i v nejbližší budoucnosti pro poměrně nízkou cenu a jednoduchou údržbu. Z energetického hlediska však nemají tyto zdroje žádný potenciál do budoucnosti.[5,6]

Halogenidové výbojky

Viditelné záření zde vzniká jednak v parách rtuti, ale hlavně zářením produktů halogenidů, to je sloučenin halových prvků např. s galiem, thaliem, sodíkem apod. Toto vede ke zvýšení indexu barevného podání až na $R_a = 90$ a měrného výkonu na 130 $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$. V křemenném hořáku vzniká cyklus podobný regeneračnímu cyklu jako u halogenových žárovek. Tlak rtuťových par je 0,5 MPa a tlak příměsí 1,33.10² Pa. Venkovní banka je z borosilikátového skla. Halogenidové výbojky pracují při venkovní teplotě – 20 až 60 °C. Doba života těchto výbojek dosahuje až 15 000 hod.

Halogenidové výbojky jsou vhodné tam, kde je důležité dobré barevné podání, například ve společenských centrech měst. Další využití je v kritických úsecích komunikací, tedy především u přechodů pro chodce, křižovatek, vjezdech apod. Jejich nevýhodou ve srovnání s vysokotlakými sodíkovými výbojkami je jejich kratší doba života a vyšší pořizovací cena.[5,6]



Obr. 2.3 Halogenidové výbojky



Obr. 2.4 Nízkotlaká sodíková výbojka

Nízkotlaké sodíkové výbojky

U těchto výbojek nastává výboj ve výbojové trubici vyhotovené z polykrystalického anebo monokrystalického kysličníku hlinitého, která je naplněna argonem, neonem a sodíkem. Při tlaku sodíkových par 0,5 Pa a teplotě stěny výbojové trubice 270 až 300 °C vyzáří monochromatické záření v pásmu vlnových délek 589 a 589,6 nm ve žluté oblasti spektra. Tyto zdroje mají nejvyšší účinnost ze všech vyráběných typů (přes 200lm/W), avšak dochází u nich k rychlejšímu úbytku světelného toku během jejich technického života, než u vysokotlakých sodíkových výbojek. Plného světelného výkonu je dosaženo za cca 12-15min. po zapálení. Mají v podstatě nulový index barevného podání, což znamená, že v jejich světle nelze rozeznávat barvy. Nízkotlaké sodíkové výbojky se vyrábí ze speciálního skla, které je odolné proti účinkům sodíku a jeho parám. Proto se trubice potahuje tenkou vrstvou oxidu boritého. Optimální pracovní teplota je 270 °C, proto se trubice ukládá do skleněného vakuovaného pláště. Tento plášť se pokrývá vrstvičkou zlata, oxidu cíničitého nebo inditého, aby se odrazilo tepelné záření.

Přes značný pokrok a zlepšení jejich užitných parametrů se však jejich použití, v důsledku velmi špatného podání barev, omezilo na osvětlení výpadových silnic a dálnic. V místech, kde jsou použity, je nutné zajistit osvětlení dopravních značek jiným zdrojem světla, protože jinak by byly značky barevně nerozlišitelné.[5,6]

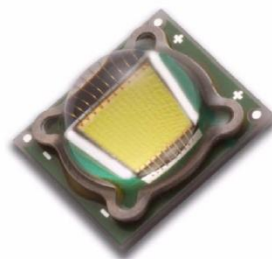
Kompaktní zářivky

Páry rtuti jsou vlivem elektrického pole mezi elektrodami vybuzeny k emisi neviditelného UV záření. Vnitřní strana skla je opatřena vrstvou speciální látky- luminoforu, který proměňuje UV záření na viditelné světlo. Výběrem luminoforu je možno docílit různých barev světla. U kompaktních zářivek se díky zahnutí skleněných trubiček a díky rozdělení na větší počet trubiček podařilo dosáhnout srovnatelných rozměrů jako u klasické žárovky. Měrný výkon kompaktních žárovek je v porovnání z běžných žárovek daleko vyšší (až 80lm·W⁻¹) a střední doba života dosahuje hodnot až 12 000h. Výraznou nevýhodou kompaktních zářivek v porovnání s žárovkami, je rychlost jejich startu. Zatímco žárovky nabíhají na jmenovitý světelný tok téměř okamžitě, kompaktní zářivky po připojení napájecího napětí naběhnou pouze na cca 50 % světelného toku. Další výrazná nevýhoda při provozu kompaktních zářivek je jejich vysoká teplotní závislost.

Ve venkovním osvětlování lze využít kompaktních zářivek především při osvětlení pěších zón a vnitrobloků. I při těchto aplikacích je nutno přihlížet k jejich teplotní závislosti. Ač mají tyto typy zářivek ve svém názvu „kompaktní“ tak stále je jejich světelně činná plocha vůči vydávanému světelnému toku příliš velká a tudíž se na osvětlení komunikací téměř nepoužívají.[5,6]



Obr. 2.5 kompaktní zářivka



Obr. 2.6 LED dioda

Lineární zářivky

Jsou to nízkotlaké rtuťové výbojky. Světlo v lineárních zářivkách vzniká luminiscencí stejně jako u kompaktních zářivek. Nevýhodou je jejich teplotní závislost, kdy světelný tok při teplotách pod bodem mrazu je velmi nízký, proto se ve veřejném osvětlení používají lineární zářivky se speciálním provedením do chladu, které tuto nepříznivou závislost nevykazují.

Ve venkovním osvětlení se používají jen zcela výjimečně. Hodí se spíše k venkovnímu pracovnímu osvětlení než k osvětlování komunikací. Používají se např. u venkovních nákladových ramp, krytých nástupišť, zastávek MHD apod.[5,6]

2. 1. 2. Světelné diody

Světelná dioda je elektronický prvek, který generuje světelné záření při průchodu proudu polovodičovým přechodem. Používá tedy jiný fyzikální princip než žárovky nebo výbojky a má mnoho vlastností, kterými se od klasických zdrojů světla odlišuje. Polovodičový přechod vyzařuje velmi úzké spektrum, záření je v podstatě monochromatické. V současnosti jsou však na trhu prvky všech potřebných barev, se třemi čipy v jednom pouzdra, i světelné diody v jednotlivých barvách vhodných pro skládání bílé. Dalším způsobem je použití LED čipu, který se uvnitř pouzdra ještě opatří vrstvou aktivní hmoty, která na principu podobném luminoforu částečně převede záření na jiné vlnové délky viditelného spektra. Výsledným efektem je bílá barva. Světelné diody mají potenciál stát se vysoce účinným světelným zdrojem. V oblasti obecného používání (osvětlování) lze využívat pouze světelných diod s bílou barvou světla. V důsledku vysoké závislosti PN přechodu na teplotě se výrobci dostávají na maximální příkon 5 W. Tomu odpovídá světelný tok 140 lm, index podání barev může být větší než 80 a doba života až 50 000 hodin.

V současnosti je využití svítících diod pro venkovní osvětlení posunuto spíše do roviny dekorativní. Pro vážné ekonomické a energeticky účinné osvětlení zatím není jejich měrný světelný výkon dostatečný.[5,6]

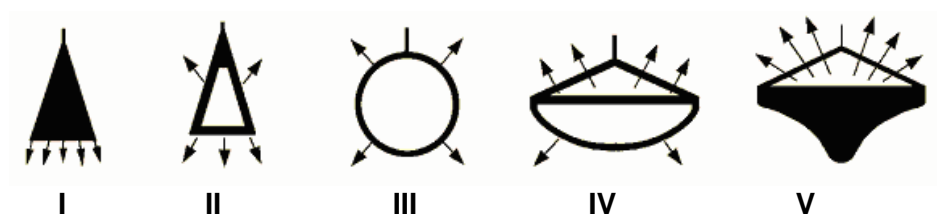
2. 2 Svítidla

Svítidla jsou zařízení, které rozdělují, filtrují nebo mění světlo vyzařované jedním nebo více světelnými zdroji a obsahují, kromě světelných zdrojů samotných, všechny díly nutné pro upevnění a ochranu zdrojů a v případě potřeby pomocné obvody, včetně prostředků pro jejich připojení k síti.

2. 2. 1. . Kriteria pro volbu svítidel

- Účinnost svítidla, která je daná poměrem světelného toku vycházejícího ze svítidla ke světelnému toku vyzářenému světelným zdrojem nebo zdroji, je základním ukazatelem hospodárnosti svítidla.
- Rozložení světelného toku, které je charakterizováno způsobem osvětlení, to je podíl světelného toku nasměrovaný do horního nebo dolního poloprostoru.
- Tvarem křivky svítivosti, která přesně stanoví rozložení světelného toku v prostoru, zda je směřován rovnoměrně do celého prostoru nebo usměrňován je do určitých prostorových úhlů tak, aby byla osvětlena jen žádoucí část prostoru a neosvětlovaly se zbytečně části, kde vyšší úroveň osvětlení není potřebná nebo kde může narušovat zrakovou pohodu.
- Ochrana před oslněním, která je dána jasy povrchu svítidel a jejich clonění v určitých prostorových úhlech.[7]

2. 2. 2. Třídění svítidel podle rozdělení světelného toku



Třída rozložení svět. toku	Svítidlo	Rozdělení světelného toku v % toku svítidla	
		do dolního poloprostoru	do horního poloprostoru
I	přímé	nad 80	do 20
II	převážně přímé	60 až 80	40 až 20
III	smíšené	40 až 60	60 až 40
IV	převážně nepřímé	20 až 40	80 až 60
V	nepřímé	do 20	nad 80

2. 2. 3. Základní principy usměrnění světelného toku

U většiny svítidel se k usměrnění světelného toku světelných zdrojů používají následující principy:

- **Reflektor** – využívá k usměrnění světelného toku zrcadlový odraz. Převážně se k těmto účelům používá vysoce čistý hliník (99,8%) s povrchovou úpravou zaručující odraznost až 95%. Pro konstrukci reflektorů se hojně využívá i tzv. difuzních povrchových úprav s různou hodnotou difuzní složky. Tyto materiály na rozdíl od hladkých materiálů se používají tam, kde není potřeba vysoké přesnosti při výrobě reflektorů při zachování vysoké odraznosti.
- **Refraktor** – využívá propustné vlastnosti materiálů. Jejich konstrukce je zaměřena na usměrnění světelného toku na principu lomu světla tak, aby byla dosažena požadovaná křivka svítivosti. PMMA (polymetalakrylát) je materiál z nejvyšší propustnosti, ovšem nemá zcela vyhovující mechanické vlastnosti. Z tohoto důvodu se nejčastěji používá PC (polykarbonát) jehož propustné vlastnosti jsou o cca 10% horší, ale mechanické vlastnosti pro konstrukci svítidel jsou mnohem příznivější. Propustnost těchto materiálů však závisí na jejich tloušťce a nelze ji korektně vyčíslit.
- **Difuzor** – využívají k usměrnění světelného toku difusního odrazu. Stejně jako u zrcadlového odrazu se k těmto účelům používá vysoce čistý hliník (99,8%) s povrchovou úpravou vytvářející difusní odraz. Za materiály s difuzním odrazem se považují ty, které odrážejí 60 - 90% dopadajícího světelného toku. Nejlepší materiály s difuzním odrazem dosahují podobně jako materiály se zrcadlovým odrazem vysokou celkovou odraznost až 94%.[5]

2. 2. 4. Přehled stupňů ochrany krytím za značkou IP

Pro krytí svítidel platí ČSN EN 60 529 (33 0330), podle níž se druh krytí svítidla označuje zkratkou IP (Ingress Protection) a dvojčíslím. První číslice (od 0 do 6) vyjadřuje ochranu před nebezpečným dotykem živých nebo pohybujících se částí a před vniknutím cizích předmětů, druhá (od 0 do 8) ochranu před vniknutím vody. Nejmenší krytí svítidel na nízké napětí je IP 20. Pro venkovní prostředí je třeba krytí před deštěm, tedy alespoň IP 23. Krytí IP 54 je běžné krytí svítidel proti stříkající vodě. Konstrukčně obdobně jsou tvořena svítidla s krytím IP 65, která však mají mnohem vyšší užitnou hodnotu. Vyšší ochrana proti vniknutí prachu a vody znamená prodloužení života optického systému svítidla a snížení nákladů na jeho údržbu (čištění)[6].

1. číslice

- 0 - bez ochrany
- 1 - před vniknutím pevných těles větších než 50 mm
- 2 - před vniknutím pevných těles větších než 12,5 mm
- 3 - před vniknutím pevných těles větších než 2,5 mm
- 4 - před vniknutím pevných těles větších než 1 mm
- 5 - před prachem
- 6 - úplně před prachem

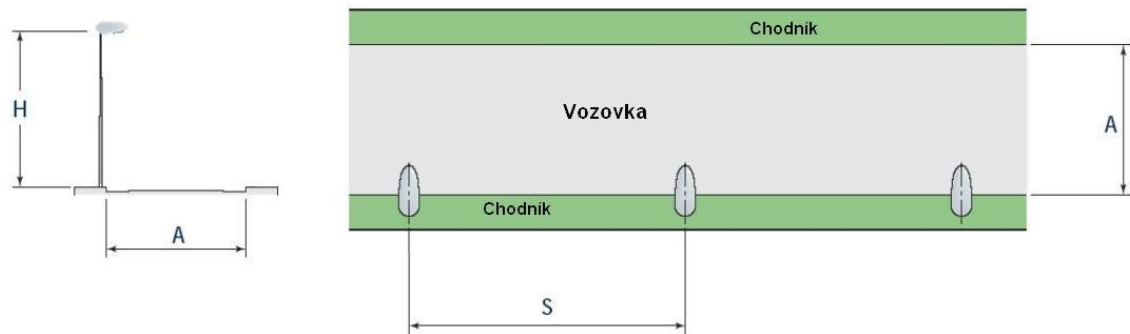
2. číslice

- 0 - bez ochrany
- 1 - před svisle kapající vodou
- 2 - před kapající vodou při sklonu 15°
- 3 - před dopadající vodou při sklonu 60° (déšť)
- 4 - před stříkající vodou
- 5 - před tryskající vodou (tlakovou)
- 6 - před intenzivně tryskající vodou
- 7 - při dočasném ponoření
- 8 - při trvalém ponoření

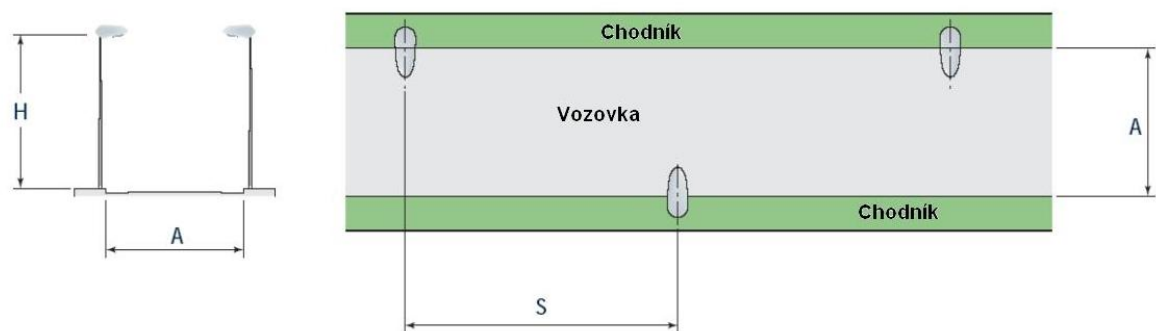
2. 2. 5. Typy osvětlovacích soustav silničních komunikací

Ve veřejném osvětlení je samozřejmostí splnění základních požadavků pro vidění. Jejich naplnění většinou i určí, jaké soustavy je třeba použít. Někdy však nastane problém, že nelze svítidla umístit optimálně. Pak dojde samozřejmě k určitým kompromisům. Ke značným omezením dojde zejména z důvodů specifické polohy pozorovatele, tedy nízko sedící řidič hledící do dálky. Tomu je nutné přizpůsobit celou osvětlovací soustavu. To se zejména týká jasů svítidel (oslnění) v úhlech, pod kterými je má řidič v zorném poli. Nejčastěji používané druhy osvětlovacích soustav na směrově rozdělených a nerozdělených komunikacích jsou[8]:

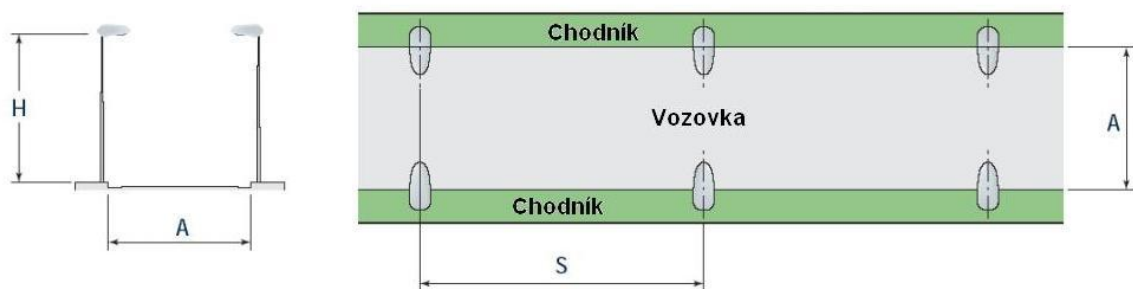
- jednostranná osvětlovací soustava (po pravé nebo levé straně vozovky)
- oboustranná vystřídaná
- oboustranná párová
- převěsová



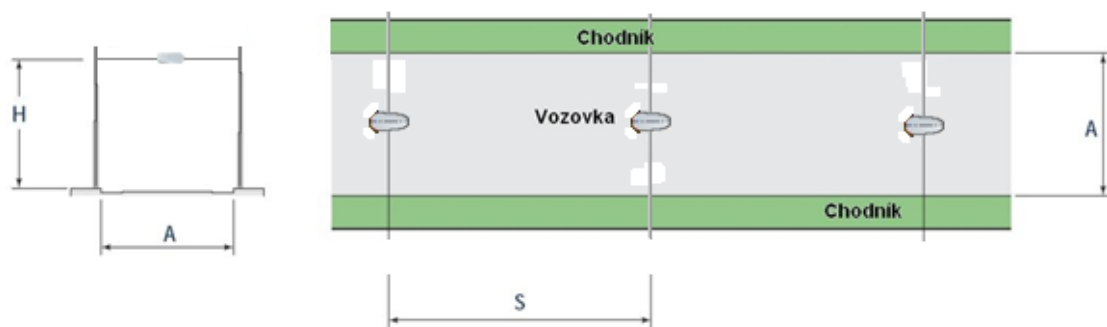
Obr. 2.7 jednostranná osvětlovací soustava



Obr. 2.8 oboustranná vystřídaná soustava



Obr. 2.9 oboustranná párová soustava



Obr. 2.10 převěšová soustava

2. 3 Výpočet jasů na komunikacích

2. 3. 1. Výpočet jasů v bodě

Jas v bodě lze vypočítat pomocí následujícího vzorce:

$$L = \frac{I \times r \times \phi \times MF \times 10^{-4}}{H^2} \quad (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (2.1)$$

kde:

- L je upravený jas v kandelách na metr čtvereční
- I je svítivost ve směru (C, γ), v kandelách na kilolumen
- r redukovaný koeficient jasů v recipročných steradiánech dopadajícího světelného paprsku s úhlovými souřadnicemi (ε, β)
- ϕ je počáteční světelný tok všech zdrojů ve svítidle v kilolumenech
- MF je součin činitele stárnutí světelného zdroje a udržovacího činitele svítidla
- H je montážní výška svítidla nad povrchem vozovky v metrech

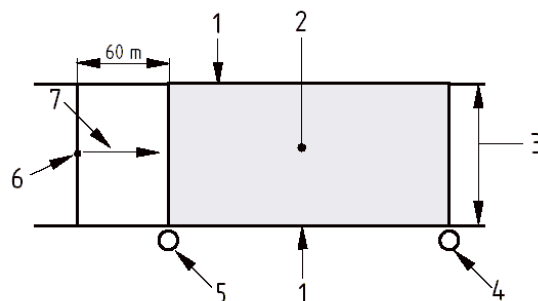
Celkový jas v bodě L_p je pak dán součtem všech příspěvků L_1, L_2, \dots, L_n všech svítidel[3].

$$L_p = L_1 + L_2 + \dots + L_k + \dots + L_n = \sum_{k=1}^n L_k \quad (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (2.2)$$

2. 3. 2. Pole pro výpočet jasů

V podélném směru relevantní oblasti leží výpočtové pole mezi dvěma svítidly téže řady, přičemž první svítidlo se nachází ve vzdálenosti 60 metrů před pozorovatelem. Pokud však má osvětlovací soustava více než jednu řadu svítidel a rozteč svítidel v jednotlivých řadách se liší, pak výpočtové pole uvažujeme mezi dvěma svítidly řady s větší nebo největší roztečí[3].

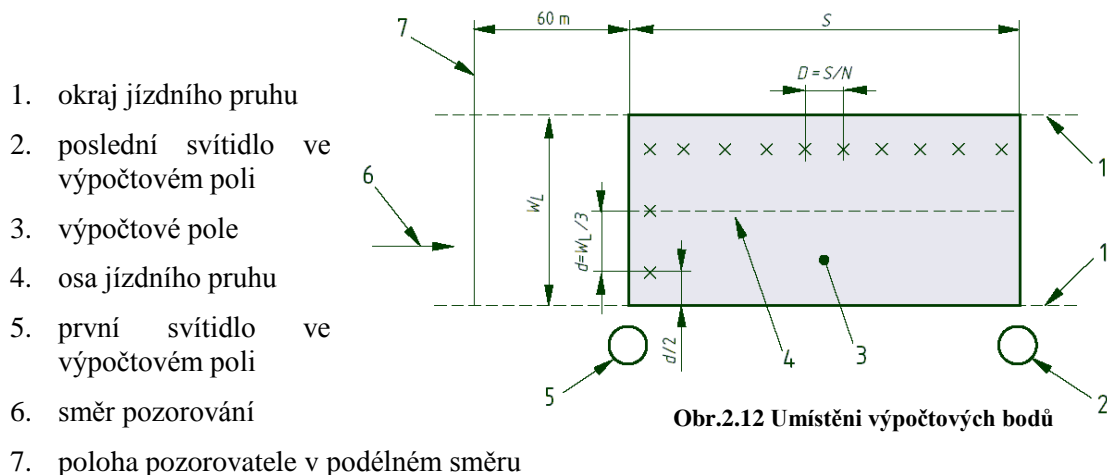
1. okraj relevantní oblasti
2. výpočtové pole
3. šířka relevantní oblasti W_r
4. poslední svítidlo ve výpočtovém poli
5. první svítidlo ve výpočtovém poli
6. pozorovatel
7. směr pozorování



Obr. 2.11 Pole pro výpočet jasů

2. 3. 3. Umístění výpočtových bodů

Výpočtové body musí být rovnoměrně rozloženy ve výpočtovém poli (Obr. 2.12). První a poslední příčné řady výpočtových bodů jsou umístěny v jedné polovině podélné rozteče mezi body ležícími na rozhraní výpočtového pole[3].



Rozteč bodů v podélném a příčném směru musí být určena takto:

a) v podélném směru

$$D = \frac{S}{N} \quad (\text{m}) \quad (2.3)$$

kde:

D je rozteč mezi body v podélném směru v metrech

S je rozteč mezi svítidly téže řady v metrech

N je počet výpočtových bodů v podélném směru nabývající těchto hodnot:
pro $S \leq 30$ m, $N = 10$;

pro $S > 30$ m, nejmenší celé číslo splňující podmínku $D \leq 3$ m. První příčná řada výpočtových bodů je umístěna ve vzdálenosti $D/2$ za prvním svítidlem (z pohledu pozorovatele).

b) v příčném směru

Rozteč (d) v příčném směru je určena rovnicí:

$$d = \frac{W_L}{3} \quad (\text{m}) \quad (2.4)$$

kde: d je rozteč mezi body v příčném směru měřená v metrech

W_L je šířka pásu měřená v metrech

3. Výpočty jasových poměrů na reálných komunikacích

3.1 Postup odvození požadavků na osvětlení

Postupné provádění následujících kroků vede k odvození odpovídajících požadavků a následnému správnému návržení vhodného osvětlení na dané komunikaci. Zvýraznění v tabulkách je pro zatřídění konkrétní komunikace, na které bude následně proveden výpočet[2,9]:

- definování úseku veřejné pozemní komunikace v jedné nebo několika **relevantních oblastech** a výběr příslušné **modelové situace** (tab. 3.1)
- uplatnění tabulky, odpovídající příslušné modelové situaci (tab. 3.2)
- podrobné definování relevantní oblasti a výběr **rozsahu tříd osvětlení** (tab. 3.3)
- výběr jedné třídy osvětlení z daného rozsahu
- nalezení požadavků na osvětlení pro vybranou třídu (třídy) osvětlení uplatnění všeobecných doporučení (tab. 3.4)

Typická rychlost hlavního uživatele (km/h)	Druh uživatelů ve stejné relevantní oblasti			Modelová situace
	hlavní uživatel	jiný povolený uživatel	nepovolený uživatel	
> 60	M	-	S C P	A1
		S	C P	A2
		S C P	-	A3
>30 a ≤ 60	M S	C P	-	B1
	M S C	P	-	B2
	P	P	M S	C1
>5 a ≤ 30	M P	-	S	D1
		S C	-	D2
	M C	S P	-	D3
	M S	-	-	D4
rychlost chůze	C P	-	-	
	P	-	M S C	E1
		M S C	-	E2

Tabulka 1.1

Jas okolí		
nízký	střední	vysoký
←	o	→

Tabulka 2.2

Geometrická opatření ke zklidnění dopravy	Riziko kriminality	Rozpoznání obličeje	Intenzita cyklistického provozu	Intenzita pěšího provozu					
				normální			vysoká		
				←	o	→	←	o	→
ne	normální	není potřebné	normální	CE5	CE5	CE4	CE5	CE4	CE3
			vyšší než normální	CE5	CE4	CE3	CE4	CE3	CE2
		potřebné	normální	CE4	CE4	CE4	CE4	CE4	CE3
	vyšší než normální		CE4	CE4	CE3	CE4	CE3	CE2	
	normální		CE4	CE4	CE3	CE4	CE3	CE3	
	vyšší než normální		CE4	CE3	CE2	CE3	CE2	CE2	

Tabulka 2.3

Třída	Horizontální osvětlenost	
	$\bar{E}_{(lx)}$ [nejmenší udržovaná hodnota]	U_0 [nejmenší hodnota]
CE0	50	0,4
CE1	30	0,4
CE2	20	0,4
CE3	15	0,4
CE4	10	0,4
CE5	7,5	0,4

Tabulka 2.4

V rámci hodnocení se rozlišují tito uživatelé místní komunikace:

- M motorová vozidla
- S pomalá vozidla do 40 km/h (v některých zemích 50 km/h)
- C cyklisti a motocykly s rychlostí do 50 km/h
- P chodci a invalidní vozíky

3. 2 Hodnocení parametrů

Požadavky na osvětlení závisí na geometrickém uspořádání relevantní oblasti a na dopravně a časově závislých charakteristikách[3].

Mezi parametry prostorového uspořádání patří:

- směrově rozdělené komunikace
- druhy křižovatek
- vzdálenost mezi mosty a křižovatkami
- kolizní oblasti
- geometrická opatření pro zklidnění dopravy

Parametry ovlivňující vliv dopravy na danou komunikaci patří:

- intenzita silničního provozu
- intenzita pěšího provozu
- náročnost navigace
- parkující vozidla
- rozeznání obličejů
- riziko kriminality

Mezi vlivy okolí a vnější vlivy patří:

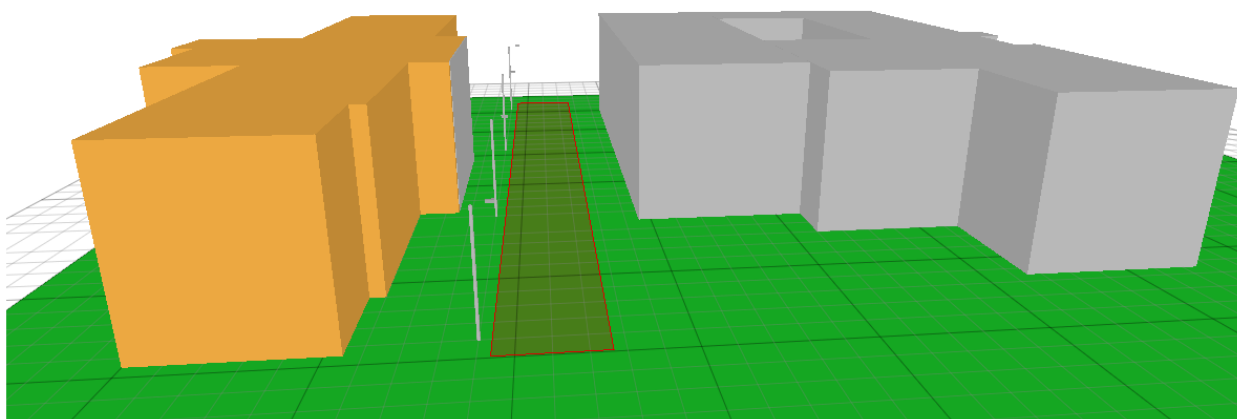
- složitost zorného pole
- jas okolí
- převažující počasí

3. 3 Relevantní oblasti

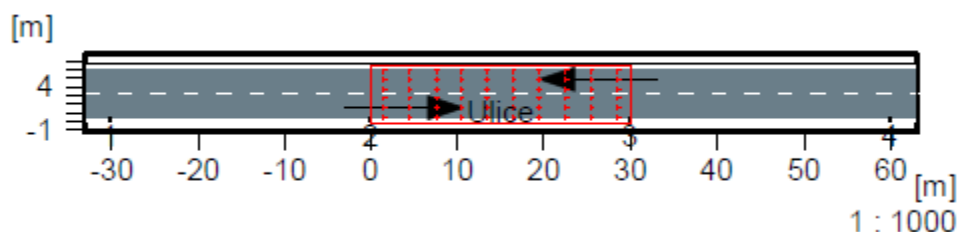
Veřejný prostor se zpravidla skládá z více než jednoho dopravního prostoru. Často se podél komunikace zřizují přilehlé chodníky anebo komunikace pro cyklisty. Jestliže je relevantní oblast definována tak, že zahrnuje všechny uvedené dopravní prostory, mají se parametry osvětlení vztahovat k celé relevantní oblasti. Totéž platí pro uplatněný postup výpočtu a pro příslušnou síť výpočtových bodů. Jsou-li jednotlivé dopravní prostory považovány za oddělené, má být každý dopravní prostor definován samostatně a také výpočet se má provést odděleně[3].

3. 4 Výpočet jasových poměrů na komunikaci pomocí programu Relux Professional 2007

Modelována komunikace se nachází v Ostravě Porubě v areálu VŠB-TUO mezi budovami Centra pokročilých inovačních technologií (tzv. CPIT). Jedná se o komunikaci širokou 6,5 m se dvěma jízdními pruhy s jednostranným uspořádáním svítidel. Podle výše popsaného postupu dospějeme k zařazení dané komunikace do třídy CE 4.



Obr. 3.1 komunikace mezi budovami CPIT



Obr. 3.2 Půdorys ulice

Údaje o svítidlech

Výrobce: Thorn Lighting

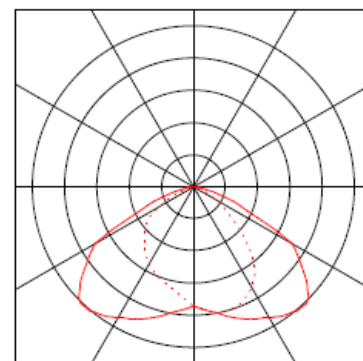
JET2 CL1 100W 230V HST/HIT-CE EFLA--V1L2

JET2 CL1 100W 230V HID EFL DD IP66 + HST 100W

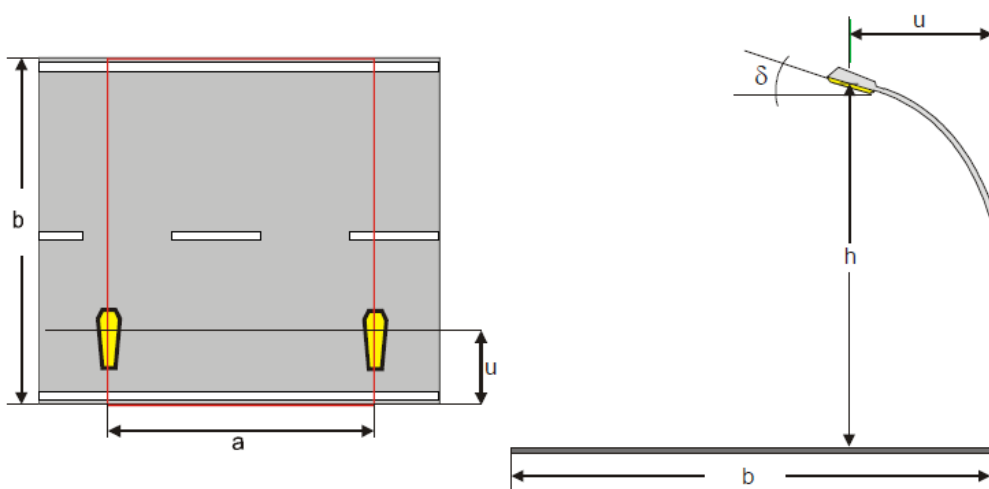


Obr. 3.3 Jet 2

Účinnost svítidla:	64,7 % (A40)
Celkový příkon systému:	117 W
Délka:	501 mm
Šířka:	244 mm
Výška:	180 mm
Označení:	HST 100W
Světelný tok:	9000 lm



Obr. 3.4 křivka svítivosti



Profil komunikace:	bez odděleného provozu
Šířka jízdního pruhu (b):	6,50 m
Počet jízdních pruhů:	2
Povrch vozovky:	R3
q0:	0,08

Rozmíst'ování svítidel:	jednostranná
Výška světelného bodu (h):	8,00 m
Rozteč svítidel (a):	30,00 m
Přesah svítidel (u):	0,30 m
Naklonění svítidel (δ):	0,00°
Redukční činitel:	0,8

Jas

Poloha pozorovatele: $x=90.00\text{m}$, $y=4.88\text{m}$, $z=1.50\text{m}$

Průměr: $0,56 \text{ cd/m}^2$

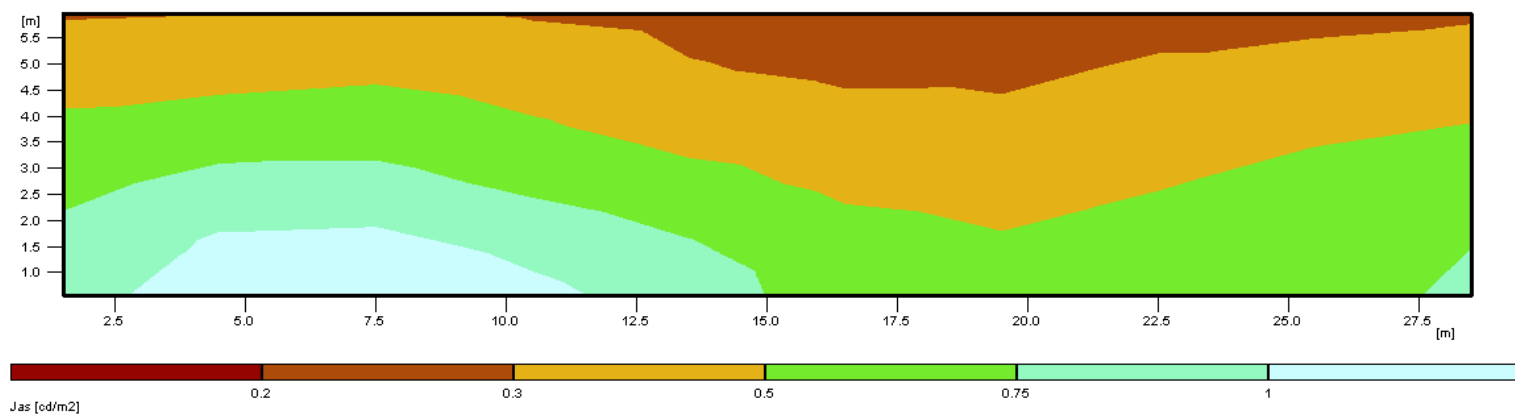
Minimum: $0,23 \text{ cd/m}^2$

Uo: 0,41

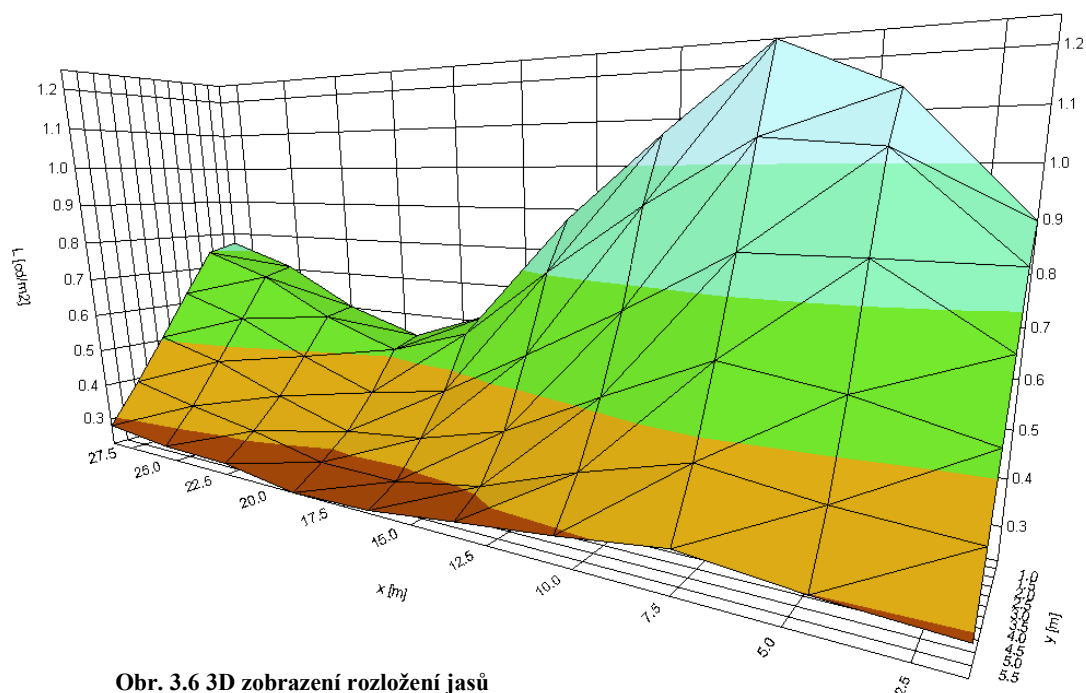
Ui: 0,6



Poloha pozorovatele 2 : $x = 90, y = 4.88, z = 1.5$
 Průměrný jas : 0.56 cd/m_v
 Minimální jas : 0.23 cd/m_v
 Celková rovnoměrnost U0 : $L_{\min}/L_m : 0.41$
 Prahový přírůstek : $TI : 3 \%$
 Rovnoměrnost v podélném směru UI : $L_{\min}/L_{\max} : 0.6$



Obr. 3.5 Pseudobarvy na srovnávací rovině



Obr. 3.6 3D zobrazení rozložení jasů

Osvětlenost

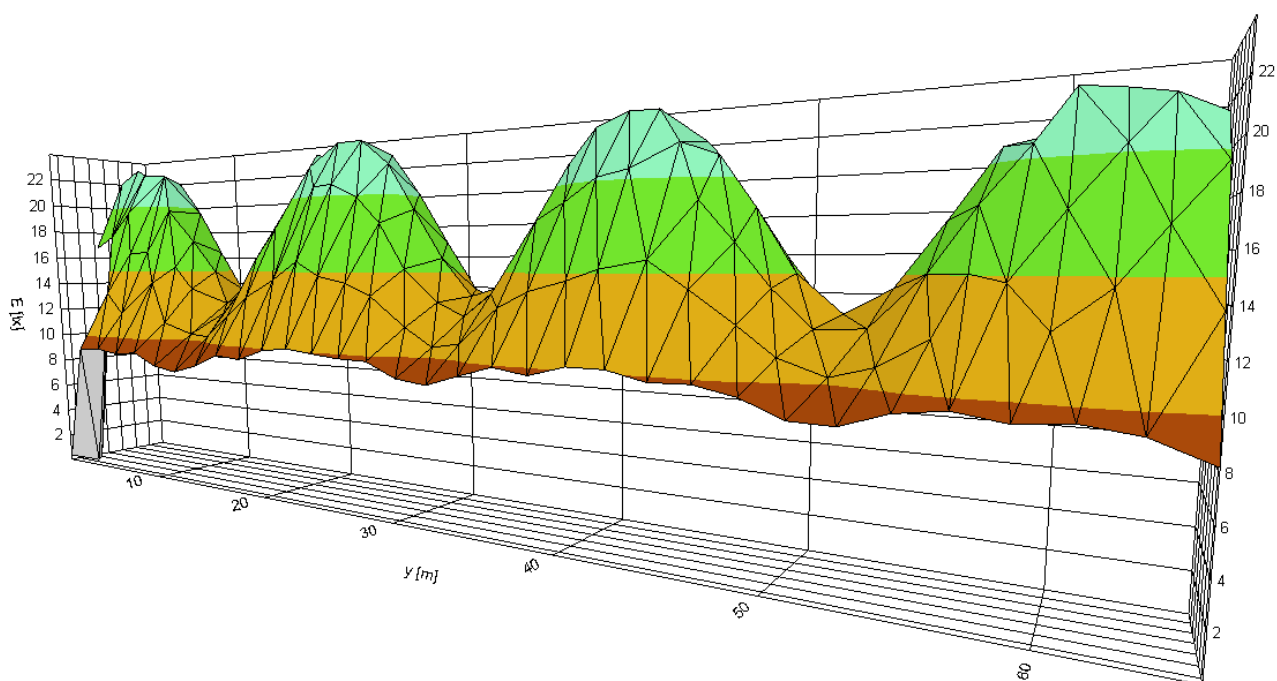
Udržovaná osvětlenost E_m : 15,9 lx

Minimální osvětlenost E_{\min} : 9,4 lx

Maximální osvětlenost E_{\max} : 23,5 lx

Rovnoměrnost g1 E_{\min}/E_m : 0,59

Rovnoměrnost g2 E_{\min}/E_{\max} : 0,4



Obr. 3.7 3D zobrazení rozložení osvětlenosti

Závěr:

Komunikace třídy CE 4 musí splňovat podle normy EN 13201 nejmenší udržovanou hodnotu osvětlenosti rovnou 10 lx a dále pak celkovou rovnoměrnost jasu U_o rovnou 0,4. Podle výpočtu je osvětlení komunikace navržené správně protože hodnota udržované osvětlenosti je při udržovacím činiteli 0,8 rovná 15,9 lx a celková rovnoměrnost 0,41.

4. Vliv automobilových světlometů na jasové poměry v pohledovém poli řidiče

4. 1 Teorie automobilových světlometů

Světlomet je zařízení, které slouží k osvětlení určitého prostoru. Bývá nezbytným doplňkem všech dopravních prostředků, neboť umožňuje jejich provoz v noci nebo za snížené viditelnosti. V dnešních světlometech bývá zdrojem světla elektrická žárovka (např. halogenová), ale také výbojové zdroje a nově LED diody. Další důležitou součástí světlometu je reflektor, který zajišťuje koncentraci světla v požadovaném směru. Jde o duté zrcadlo, které je umístěné za světelným zdrojem a které odráží světelné paprsky do požadovaného směru. Pokud je třeba dosáhnout rovnoběžných paprsků, zrcadlo má tvar paraboly a světelný zdroj je umístěn v jeho ohnisku[10].



Obr. 4.1 automobilový světlomet, halogenový typ

4. 1. 1. Dálkový světlomet

Montáž: Povinná na automobilech. Zakázaná na přípojných vozidlech.

Počet: Dva nebo čtyři. Mohou být montovány dva další dálkové světlometry. Je-li vozidlo vybaveno čtyřmi zakrývatelnými světlometry, je přípustná montáž dvou přídatných světlometů pouze pro účely světelné signalizace za dne, kterou tvoří jejich přechodné rozsvěcování v krátkých intervalech.

Umístění:

Na šířku: žádný zvláštní požadavek.

Na výšku: žádný zvláštní požadavek.

Na délku: na předku vozidla a namontován tak, že vyzařované světlo neobtěžuje řidiče ani přímo ani nepřímo přes zpětná zrcátka a/nebo jiné plochy na vozidle, odrážející světlo.

Geometrická viditelnost: Viditelnost svítící plochy, včetně pásu, která se nejeví jako osvětlená ve směru uvažovaného pozorování, musí být zajištěna uvnitř rozvíhajících se prostoru, ohraničeného přímkami, vycházejícími od

obrysu svíticí plochy a svírajícími se vztažnou osou světlometu úhel nejméně 5° . Výchozím bodem pro úhly geometrické viditelnosti je obvod průmětu svíticí plochy na příčnou rovinu, tečnou k nejpřednější části rozptylového skla světlometu.

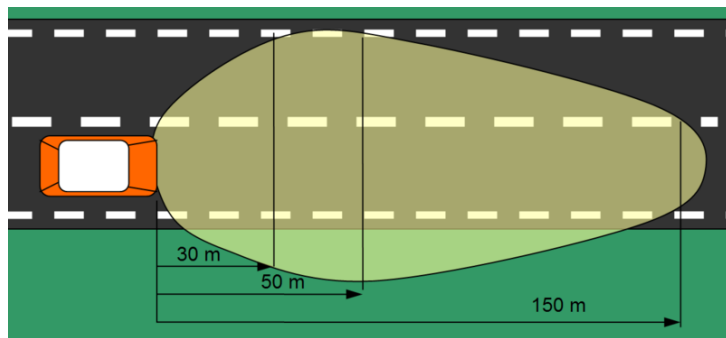
Orientace: Směrem dopředu. Nejvýše jeden z dálkových světlometů na každé straně vozidla se může natáčet tak, aby vytvářel osvětlení zatáčky.

Elektrická zapojení: Dálkové světlomety mohou být rozsvíceny současně nebo ve dvojicích. Při přepínání ze světla potkávacího na světlo dálkové se musí rozsvítit nejméně jeden pár dálkových světlometů. Při přepínání ze světla dálkového na světlo potkávací se musí vypnout současně všechny dálkové světlomety. Potkávací světla mohou zůstat zapojena současně se světly dálkovými.

Jiné požadavky: Maximální součtová svítivost dálkových světlometů, které mohou být zapnuty současně, nesmí překročit 225 000 cd. Tato maximální svítivost se stanoví sečtením jednotlivých vztažných označení, která jsou na některých světlometech vyznačena[10].



Obr. 4.2 dálková světla



Obr. 4.3 dosah dálkových světel

4. 1. 2. Potkávací světlomet

Montáž: Povinná na automobilech. Zakázaná na přípojných vozidlech.

Počet: Dva

Uspořádání: Žádný zvláštní požadavek.

Umístění:

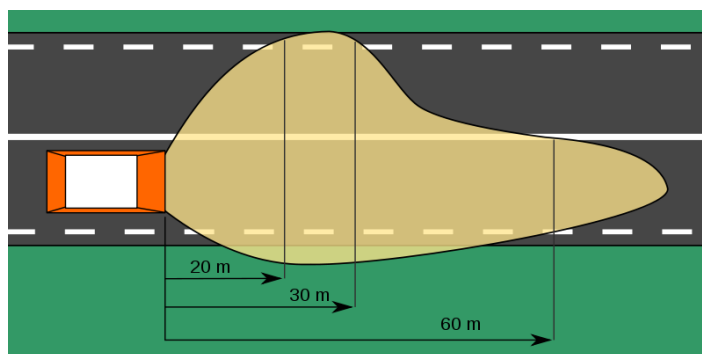
Na šířku: okraj přivrácené plochy ve směru vztažné osy, který je nejvzdálenější od podélné střední roviny vozidla, nesmí být od vnějšího obrysu vozidla dále než 400 mm. Vnitřní okraje přivrácené plochy ve směru vztažných os nesmějí být vzdáleny méně než 600 mm. Na výšku: nejméně 500 mm a nejvýše 1 200 mm nad zemí; U kategorie N3G (terénní vozidla) může být maximální výška zvýšena až na 1500 mm.

Na délku: podmínka se považuje za splněnou, jestliže vyzařované světlo neobtěžuje řidiče ani přímo, ani nepřímo přes zpětná zrcátka nebo jiné plochy na vozidle, odrážející světlo, případně přes obojí. Jelikož požadované fotometrické hodnoty potkávacích světlometů nepokrývají celé pole geometrické viditelnosti, požaduje se pro účely homologace typu ve zbylém poli minimální hodnota svítivosti 1 cd. Přítomnost přepážek nebo jiných součástí vybavení v sousedství světlometu nesmí zaviňovat druhotné účinky, obtěžující ostatní uživatele silnice.

Orientace: směrem dopředu vertikálně. Základní sklon rozhraní potkávacího světla, který má být seřízen u nenaloženého vozidla s jednou osobou sedící na místě řidiče, musí být výrobcem stanoven s přesností na 0.1% [10].



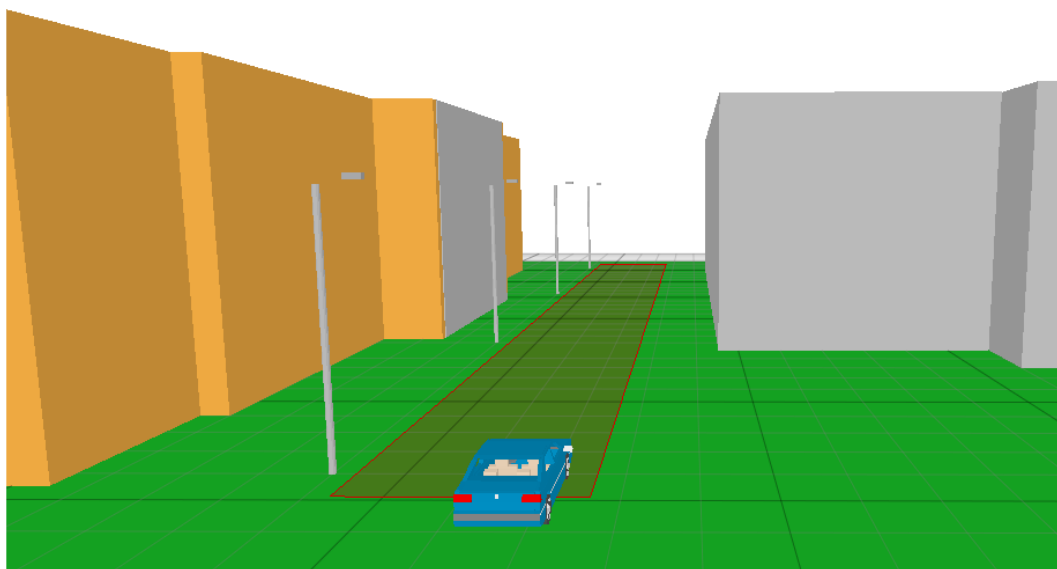
Obr. 4.4 potkávací světla



Obr. 4.5 dosah potkávacích světel

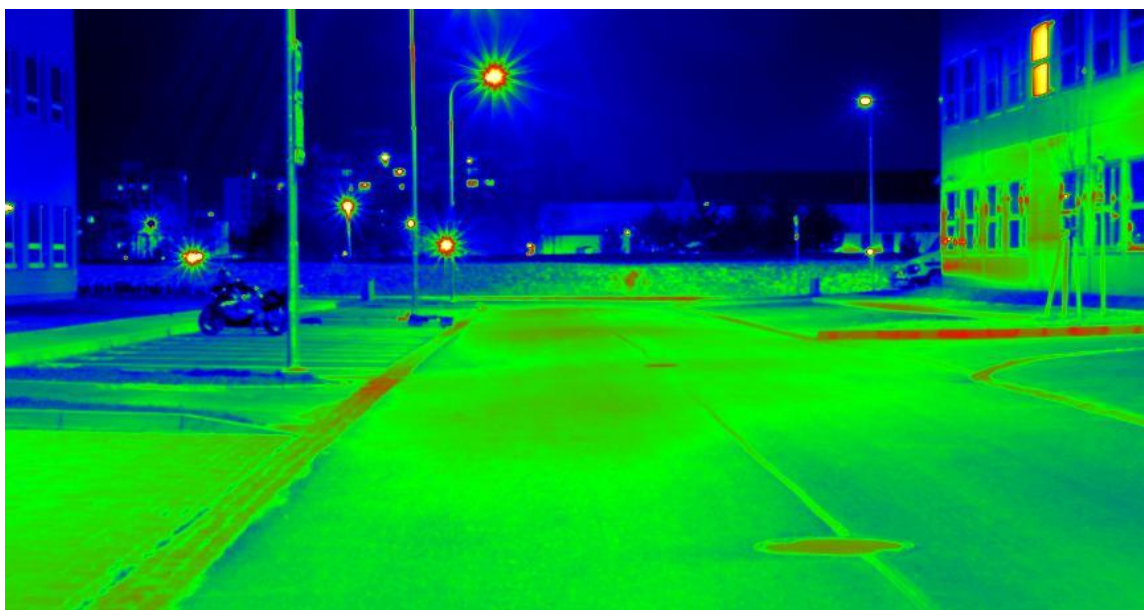
4. 2 Vliv automobilových světlometů

Pro zjištění vlivu automobilových světlometů bylo využito měření komunikace mezi budovami CPIT v areálu VŠB-TU Ostrava. Vyšetřován byl levý i pravý pruh vozovky po délce 90 m od vozidla. Měření bylo postupně prováděno bez světel automobilu, poté se zapnutými potkávacími světly a následně s dálkovými světly automobilu. Měření bylo provedeno jasovým



Obr. 4.6 Vizualizace měření pomocí software Relux professional 2000

analyzátorem LMK mobile advance. Měřená komunikace je osvětlena vysokotlakými sodíkovými výbojkami Master SON-T PIA 100W umístěnými ve svítidlech JET2 firmy Thorn Lighting ve výšce 8 m nad povrchem vozovky. Rozteč mezi jednotlivými svítidly je 30m. Vozovka byla osvětlena vozem Subaru Forester (světlomety s halogenovými žárovkami).



Obr. 4.7 Snímek zobrazený ve vyhodnocovacím programu LMK 2000

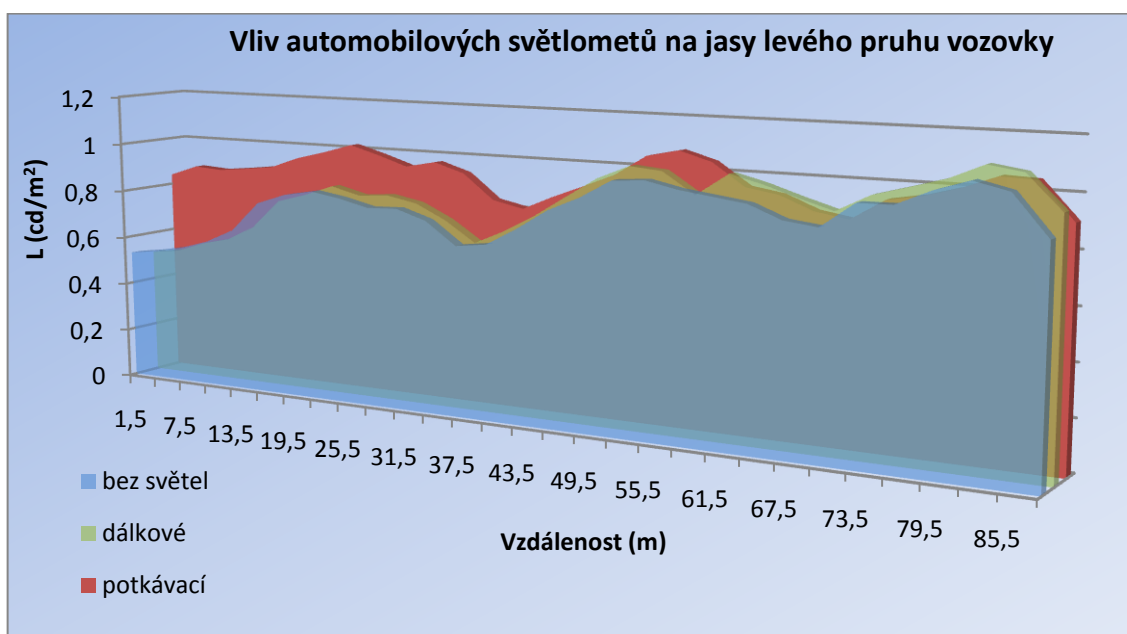
Vyhodnocení

Tabulky s hodnotami naměřených jasů i osvětlenosti včetně jejich grafických vyhodnocení se nacházejí v příloze této diplomové práce.

Jasy:

Levý jízdní pruh:

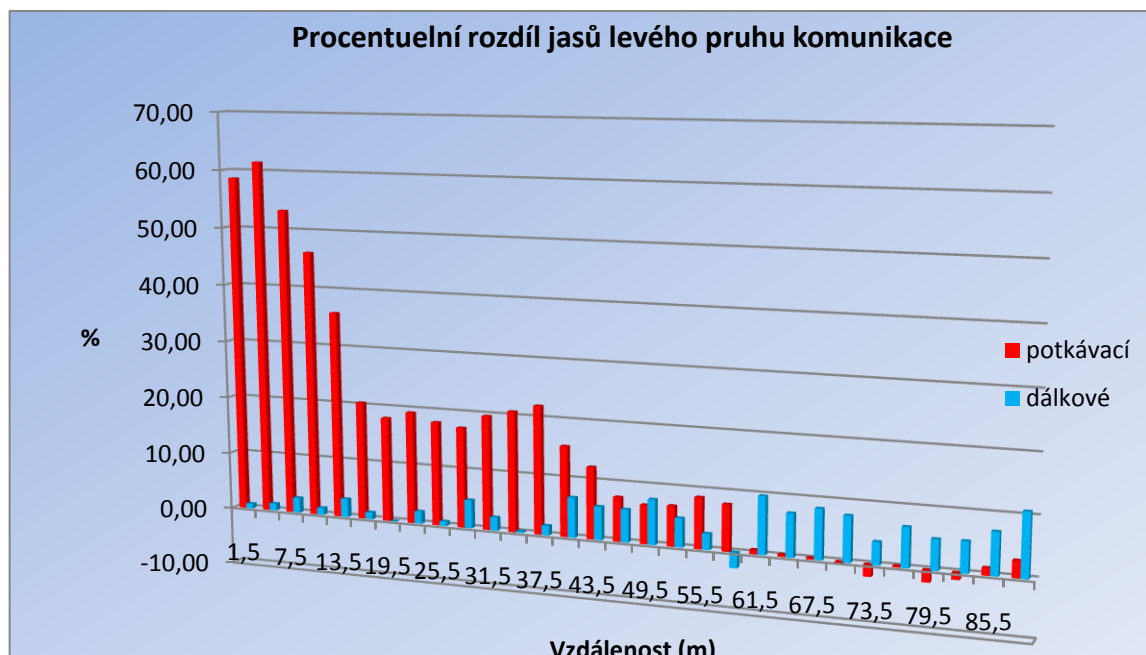
Jak je patrné z grafů (4.1; 4.2) tak zatímco potkávací světla automobilu ovlivňují především první 2/3 délky měřené komunikace tak naopak vliv dálkových světél se výrazněji projevuje až v poslední třetině délky vozovky.



Graf 4.1 závislost jasů na vzdálenosti od automobilových světlometů

Přírůstek hodnoty jasů odpovídá teoretickému předpokladu, že do vedlejšího jízdního pruhu by měly potkávací světla zasahovat jen částečně. Přesto se hodnota jasů v první třetině délky vozovky zvýší o 35% oproti stavu bez světél automobilu. Vliv potkávacích světél však postupně klesá a ve druhé třetině vzdálenosti od automobilu je přírůstek jasů roven 13% a na posledních 30 metrech zkoumané komunikace již potkávací světla nemají žádný vliv.

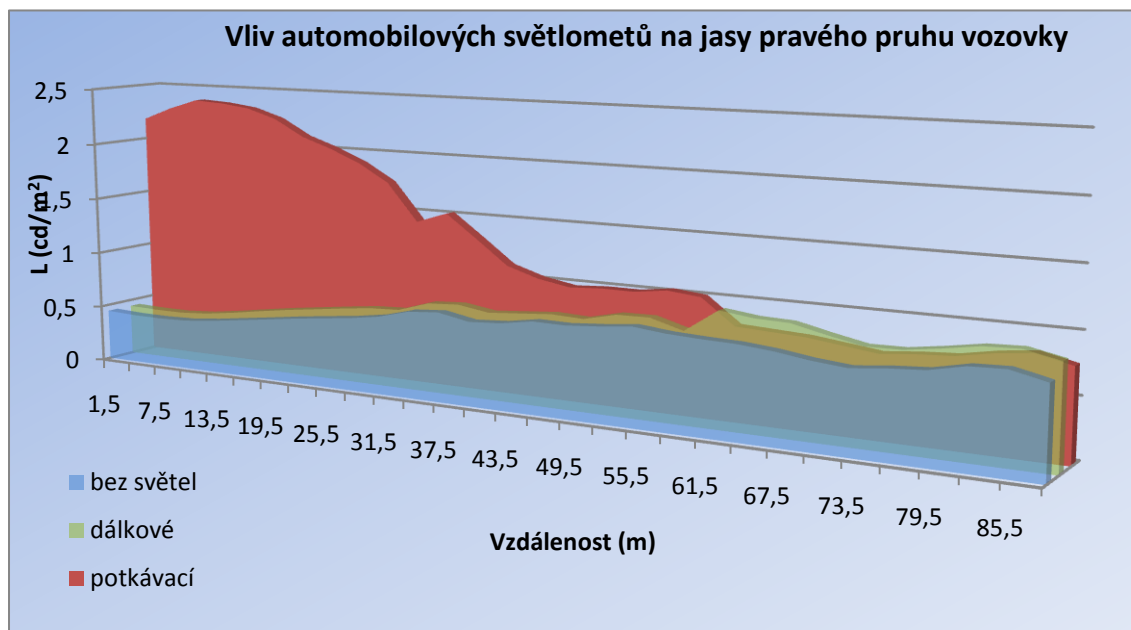
Zvýšení hodnot jasů dálkovými světly se v prvních 2/3 vzdálenosti od vozidla pohybuje okolo 2%, což odpovídá chybě měření. Patrný vliv dálkových světél je až v poslední třetině kdy se hodnoty jasů zvýší průměrně o 8% oproti hodnotám bez automobilových světlometů.



Graf 4.4 procentuelní nárůst jasů potkávacích a dálkových světel v závislosti na vzdálenosti

Pravý jízdní pruh:

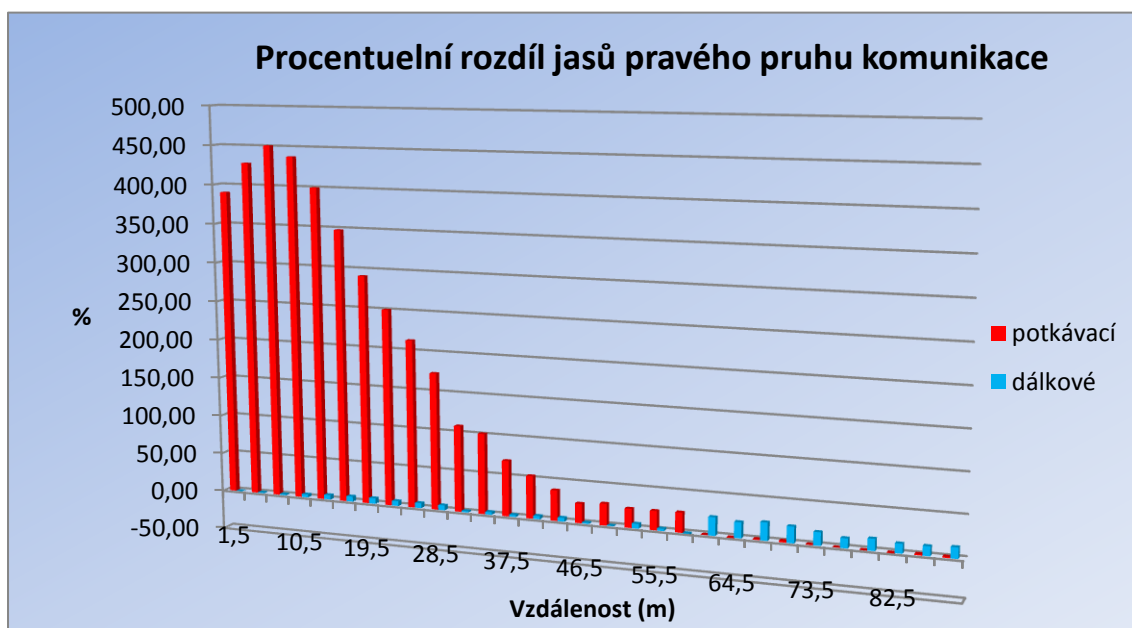
Taktéž v pravém jízdním pruhu, tedy v pruhu kde se nachází automobil, potkávací světla ovlivňují hodnoty jasů do 2/3 délky vozovky (60m), zatímco dálkové světla pouze poslední třetinu (Graf 4.3; 4.4).



Graf 4.3 závislost jasů vozovky na vzdálenosti od světel automobilu

Přírůstek jasů na prvních 30m před vozidlem dosahuje až 3,5 násobku průměrné hodnoty jasů komunikace osvětlené pouze veřejným osvětlením. Vliv potkávacích světel opět klesá se vzdáleností, avšak na rozdíl od vedlejšího jízdního pruhu ve druhé třetině zkoumané vozovky jsou hodnoty jasů ještě o 50% vyšší oproti hodnotám bez světel automobilu. Ve

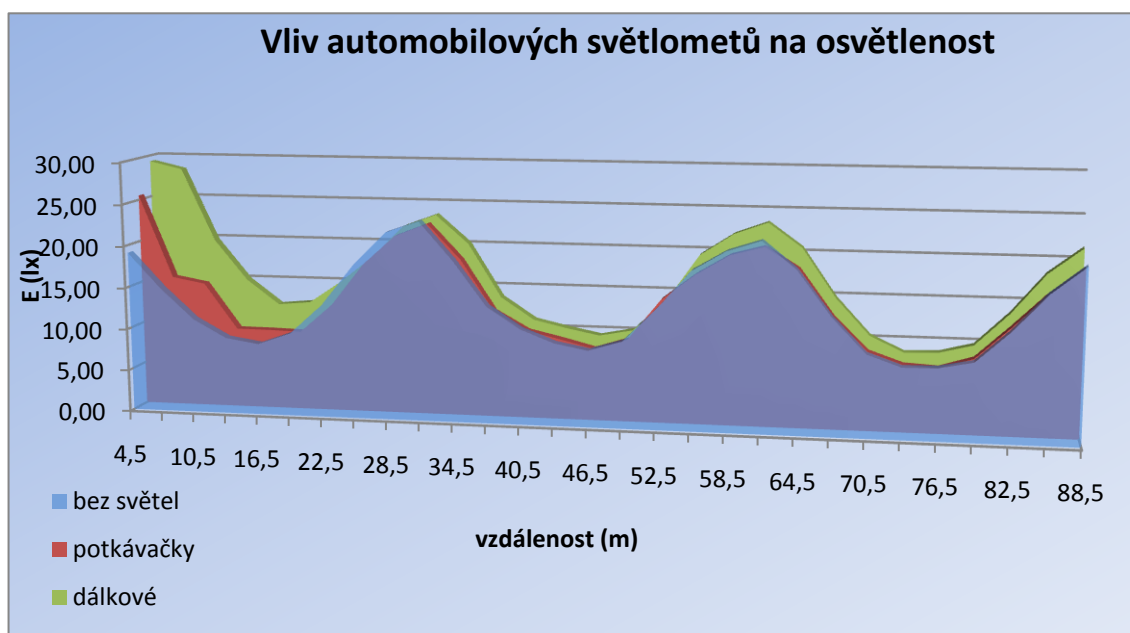
vzdáleností 60m a výše již potkávací světla v podstatě nemají vliv na hodnotu jasů, což odpovídá teoretickým předpokladům.



Graf 4.4 procentuelní nárůst jasů potkávacích a dálkových světel v závislosti na vzdálenosti

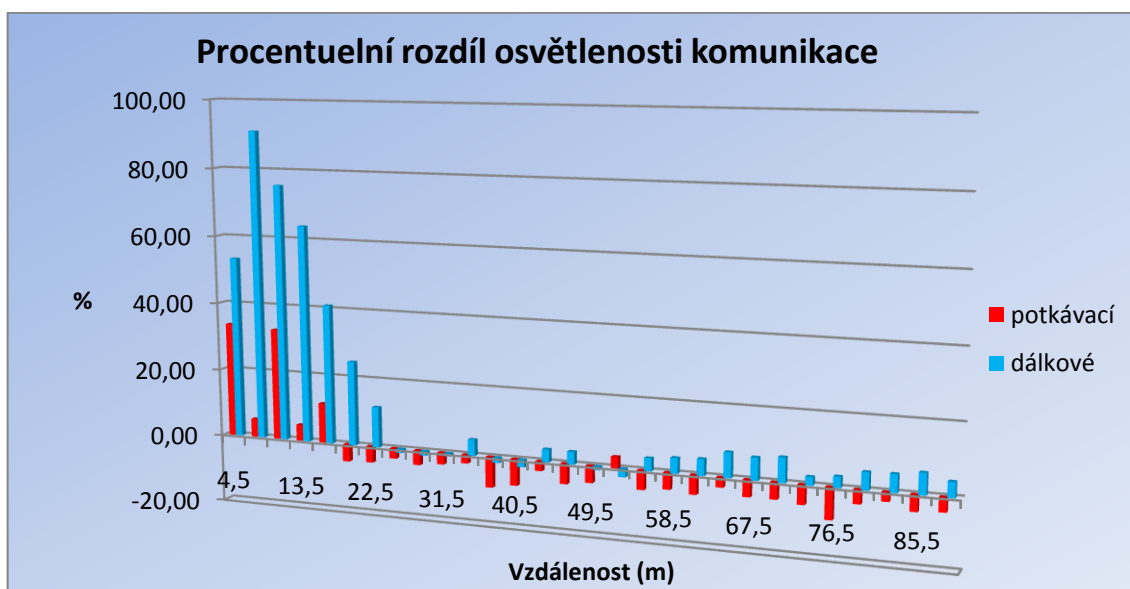
Dálkové světla, stejně jako ve vedlejším pruhu, ovlivňují hodnoty jasů až v poslední třetině vozovky, kdy se hodnota jasů zvětší oproti hodnotě bez světel automobilu o 17%. Také toto odpovídá teoretickým předpokladům.

Osvětlenosti:



Graf 4.5 Hodnoty osvětlenosti komunikace na vzdálenosti

Vliv automobilových světlometů na hodnoty osvětlenosti není tak patrný jako u hodnot jasů. Patrný nárůst je pouze v prvních 20 metrech před vozidlem kdy hodnoty osvětlenosti dosahují průměrně hodnoty o 52% u dálkových a o 15% u potkávacích světel vyšší oproti naměřeným hodnotám bez světel automobilu.



Graf 4.6 procentuelní změna osvětleností potkávacích a dálkových světel v závislosti na vzdálenosti

5. Měření jasových poměrů na vybraných komunikacích

5. 1 Popis měřené oblasti

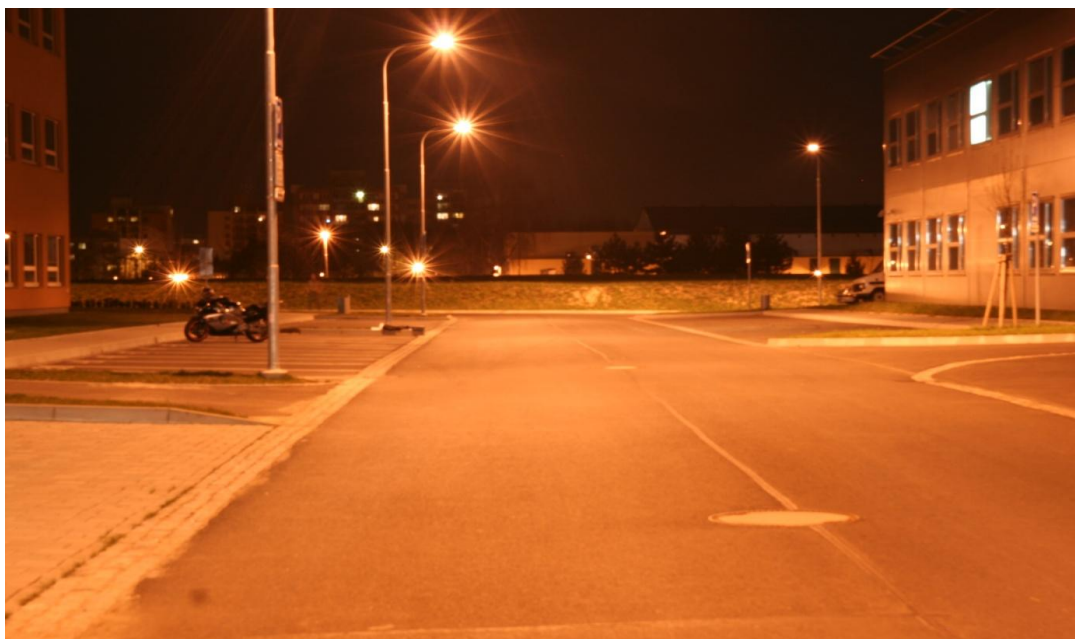
Měření bylo provedeno na komunikaci mezi budovami CPIT v areálu VŠB-TU Ostrava Poruba (obr 5.3.). Jedná se o komunikaci širokou 6,5 m se dvěma jízdními pruhy s jednostranným uspořádáním svítidel. Komunikace je osvětlena svítidly Jet 2 firmy Thorn Lighting. Světelným zdrojem těchto svítidel jsou vysokotlakové sodíkové výbojky Master SON-T PIA 100W (Obr. 5.2). Svítidla jsou umístěna ve výšce 8 m s roztečí 30 m. Měřicím přístrojem použitým k tomuto měření byl přístroj LMK Mobil Advance (Obr.5.1.), což je digitální jednooká zrcadlovka, která zaznamená reálnou scénu v digitální podobě na paměťové médium pomocí CMOS snímače. Při měření byly použity světlomety s halogenovými žárovkami vozu Subaru Forester.



Obr. 5.1 Canon EOS 350D



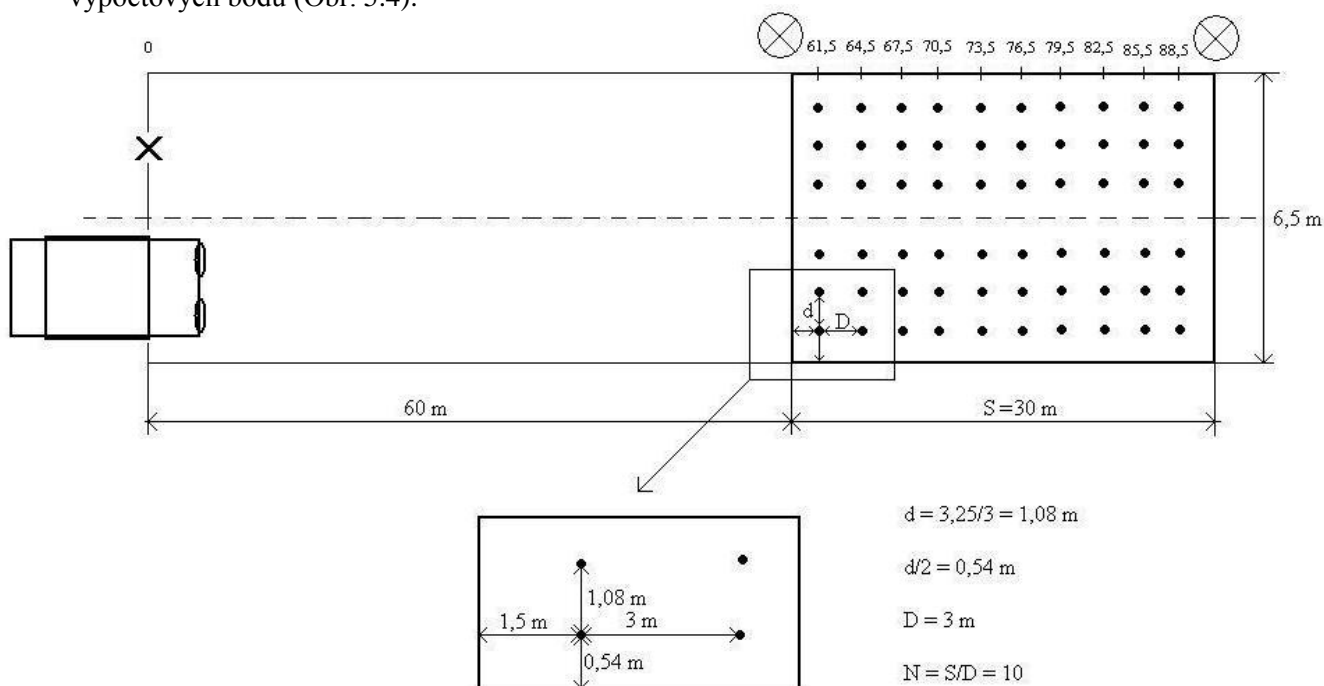
Obr. 5.2 Thorn Lighting JET 2



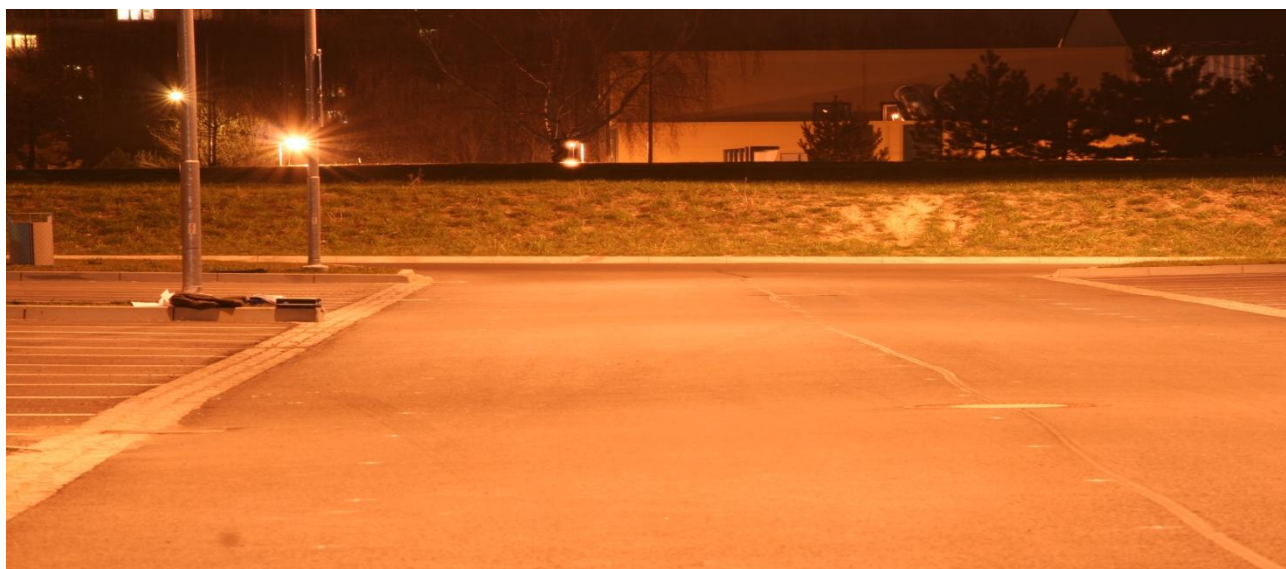
Obr. 5.3 Komunikace mezi budovami CPIT

5. 2 Měření komunikace dle normy ČSN 13201

Jas povrchu pozemní komunikace je výsledkem osvětlenosti povrchu pozemní komunikace, odrazných vlastností povrchu pozemní komunikace a geometrických podmínek pozorování. Měření a vyhodnocení bylo provedeno v souladu s normami ČSN EN 13201- 2 a 3. V levém i pravém jízdním pruhu ve vzdálenosti 60 metru od měřicího přístroje se nachází výpočtové pole umístěno mezi svítidly téže řady, v němž je rozmístěna pravidelná síť výpočtových bodů (Obr. 5.4).



Obr. 5.4 Schéma měřené oblasti



Obr. 5.5 Snímek zachycený pomocí měřicího přístroje LMK

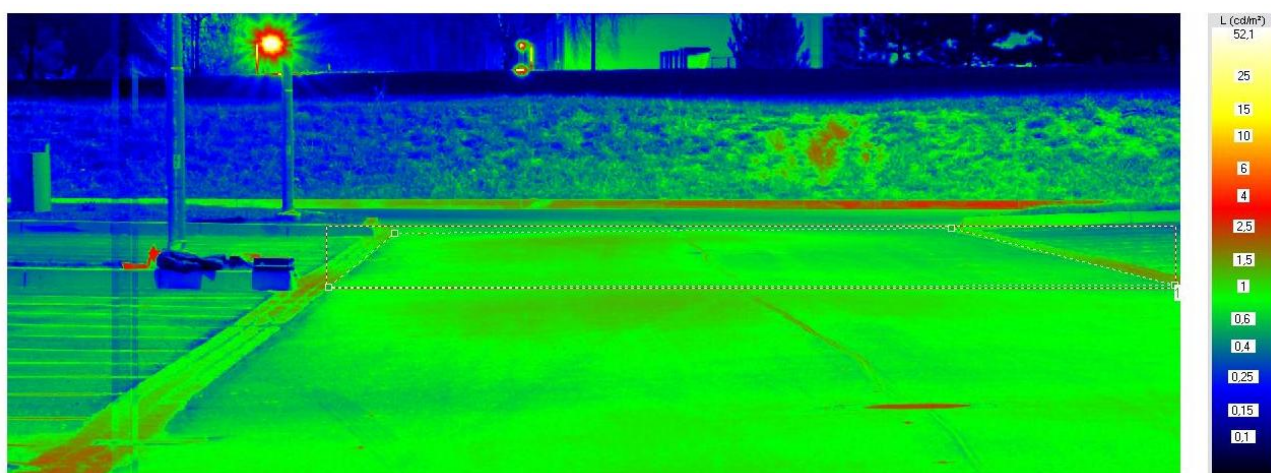
5. 3 Programové vybavení

Ke zpracování naměřených snímků slouží software LMK 2000. Jako podklad k vyhodnocení jsou použita data ve formátu CR2, ve kterém je obraz zaznamenán ve formě RAW snímku, jenž obsahuje „surová data“, což znamená, že zaznamenaná informace je uložena v původní podobě, bez dodatečných korekcí, jak je tomu u jiných formátů (JPEG, BMP, apod.). Při měření je možno využít celý rozsah a nastavit úroveň expozice např. na ± 2 , čímž se scéna zaznamená na tři samostatné snímky s úrovněmi -2.00 EV, 0.00 EV, +2.00 EV



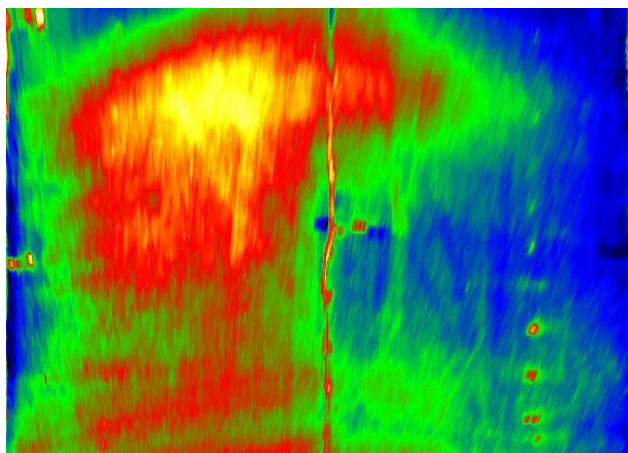
Obr. 5.6 tři varianty expozice pro výpočet jasu vozovky

Z naměřeného snímku je vytvořen jasový kanál, ve kterém je uložena informace o hodnotě jasu pro daný makropixel. Makropixel obsahuje 4 pixely (R, G1, B, G2), ve kterých je uložena hodnota zaznamenaná CMOS snímačem fotoaparátu. Přizpůsobení relativní spektrální citlivosti systému k $V-\lambda$ funkci je provedena pomocí numerické matice. Informaci uloženou v jasovém kanále je dále možné zpracovávat a vyhodnocovat měřený objekt podle žádané metodiky či normy[12].

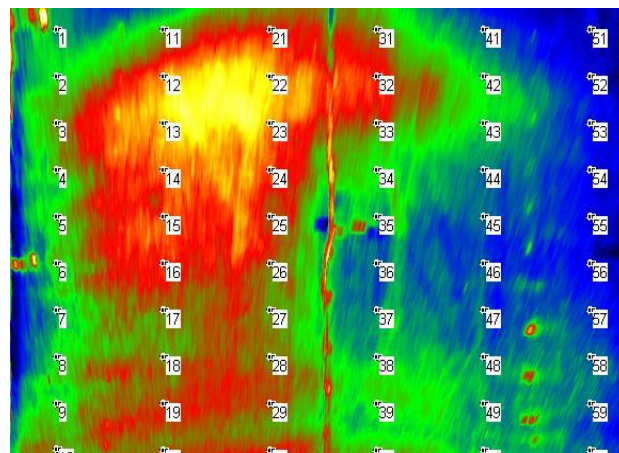


Obr. 5.7 Snímek zobrazený v software LMK 2000 s vyznačeným jasovým polem

Pro snadnější umístění výpočtových bodů do jasové mapy umožňuje software LMK 2000 zobrazení náhledu vyznačeného jasového pole (obr. 5.8.1). Do takto zobrazeného snímku jasového pole vyznačíme síť výpočtových bodů (obr. 5.8.2) podle normy ČSN EN 13201, jejíž aritmetický průměr dává střední hodnotu jasů komunikace.



Obr. 5.8.1 Náhled jasového pole

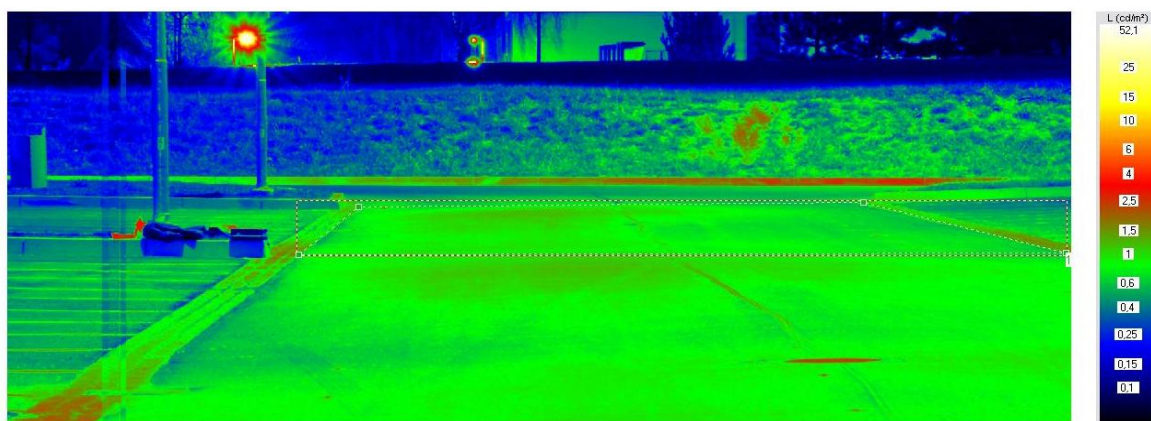


Obr. 5.8.2 Síť výpočtových bodů v náhledu

5.4 Vyhodnocování měření

Bez světél automobilu:

Následující snímek, pořízen měřicím přístrojem LMK mobile advance, zobrazuje jasové pole vozovky bez použití světél automobilu (Obr. 5.10).



Obr. 5.10 jasové pole vozovky bez světél automobilu

Po umístění výpočtových bodů do snímku byly odečteny hodnoty jasů v těchto bodech a následně zpracovány v programu Microsoft Excel. Výpočtem byly zjištěny střední hodnota jasů, podélná i celková rovnoměrnost pro oba jízdní pruhy (Tab. 5.1; 5.2):

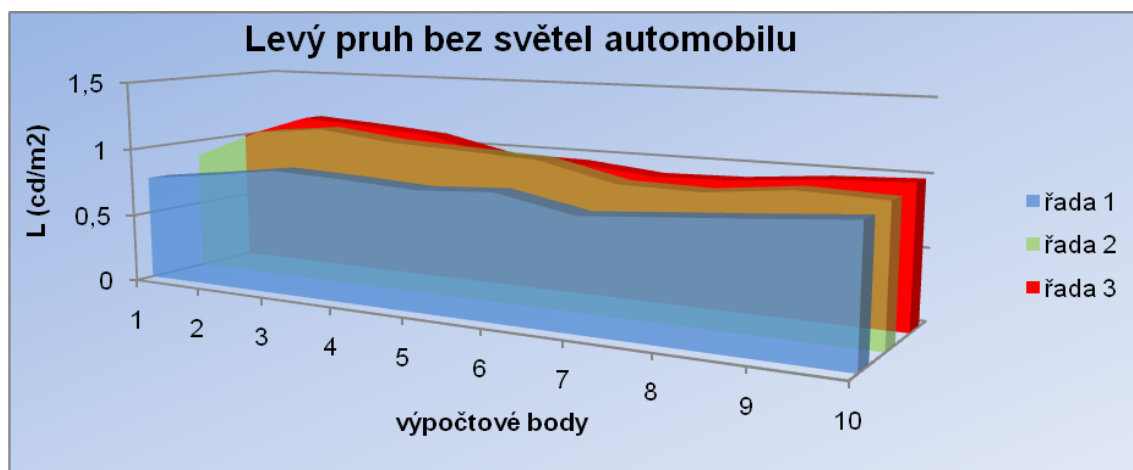
Levý pruh vozovky bez světél automobilu				
L_{\min}	L_{\max}	$L_{\text{střední}}$	Podélná rovnoměrnost	Celková rovnoměrnost
(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)
0,7456	1,1960	0,9511	0,6234	0,7839

Tab. 5.1

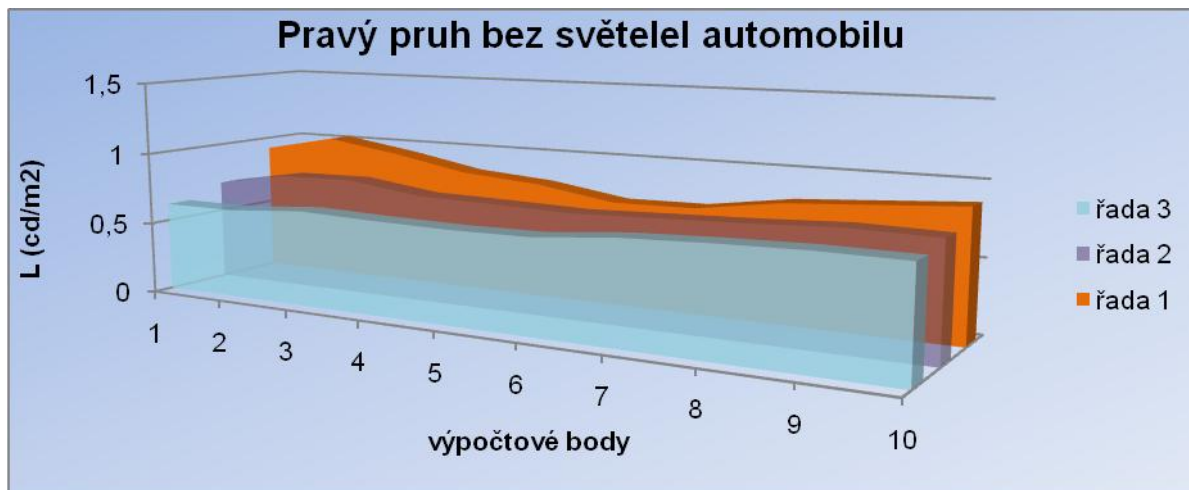
Levý pruh vozovky bez světél automobilu				
L_{\min}	L_{\max}	$L_{\text{střední}}$	Podélná rovnoměrnost	Celková rovnoměrnost
(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)
0,7456	1,1960	0,9511	0,6234	0,7839

Tab. 5.2

Následující grafy zobrazují hodnoty jasů ve výpočtových bodech. Řada 1 označuje první řadu výpočtových bodů a nachází se u levého okraje jízdního pruhu, řada dvě je uprostřed a řada 3 leží v pravé části jízdního pruhu.



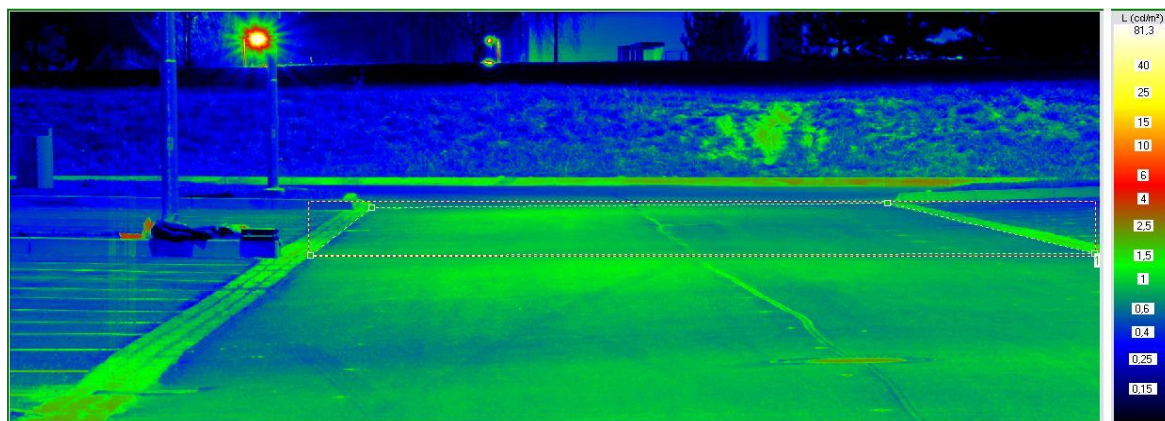
Graf.5.1 Hodnoty jasů ve výpočtových bodech



Graf 5.2 Hodnoty jasů ve výpočtových bodech

Potkávací světla automobilu:

Následující snímek, pořízen měřicím přístrojem LMK mobile advance, zobrazuje jasové pole vozovky se zapnutými potkávacími světly automobilu (Obr. 5.10).



Obr. 5.11 vyznačené jasové pole při na snímku s rozvěšenými potkávacími světly

Po umístění výpočtových bodů do snímku byly odečteny hodnoty jasů v těchto bodech a následně zpracovány v programu Microsoft Excel. Výpočtem zjistíme střední hodnotu jasů, podélnou i celkovou rovnoměrnost pro oba jízdní pruhy (Tab. 5.3; 5.4):

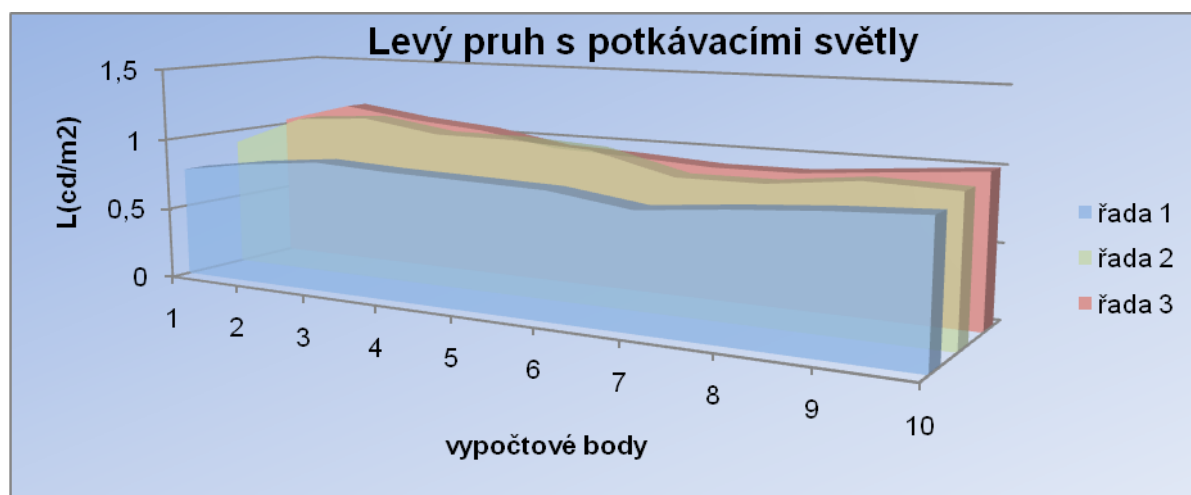
Levý pruh vozovky s potkávacími světly automobilu				
L_{\min}	L_{\max}	$L_{\text{střední}}$	Podélná rovnoměrnost	Celková rovnoměrnost
(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)
0,7465	1,1980	0,9508	0,6231	0,7852

Tab. 5.3

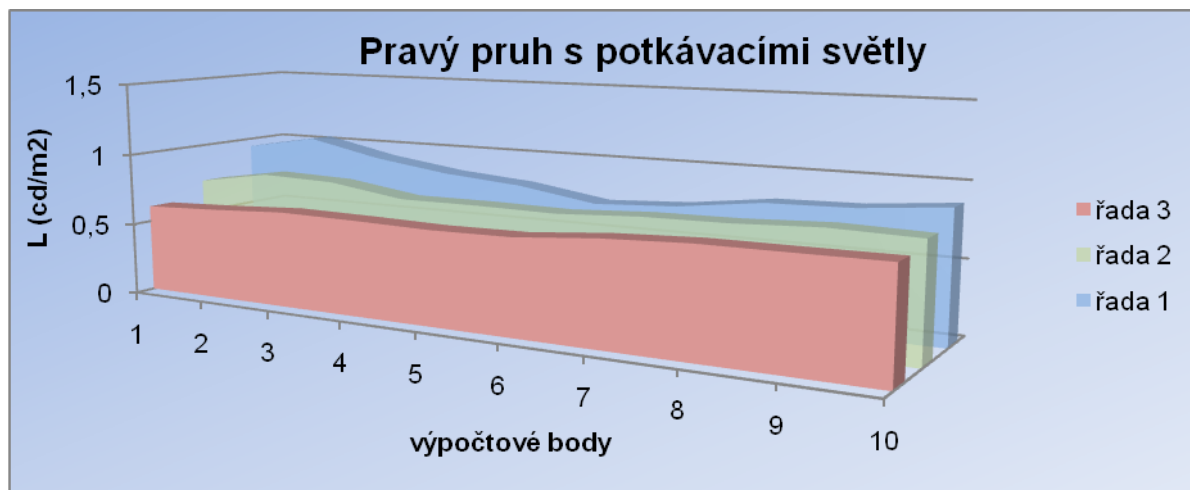
Pravý pruh vozovky s potkávacími světly automobilu				
L_{\min}	L_{\max}	$L_{\text{střední}}$	Podélná rovnoměrnost	Celková rovnoměrnost
(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)	(cd/m ²)
0,6033	1,0470	0,7597	0,5762	0,7941

Tan. 5.4

Následující grafy zobrazují hodnoty jasů ve výpočtových bodech. Řada 1 označuje první řadu výpočtových bodů a nachází se u levého okraje jízdního pruhu, řada dvě je uprostřed a řada 3 leží v pravé části jízdního pruhu



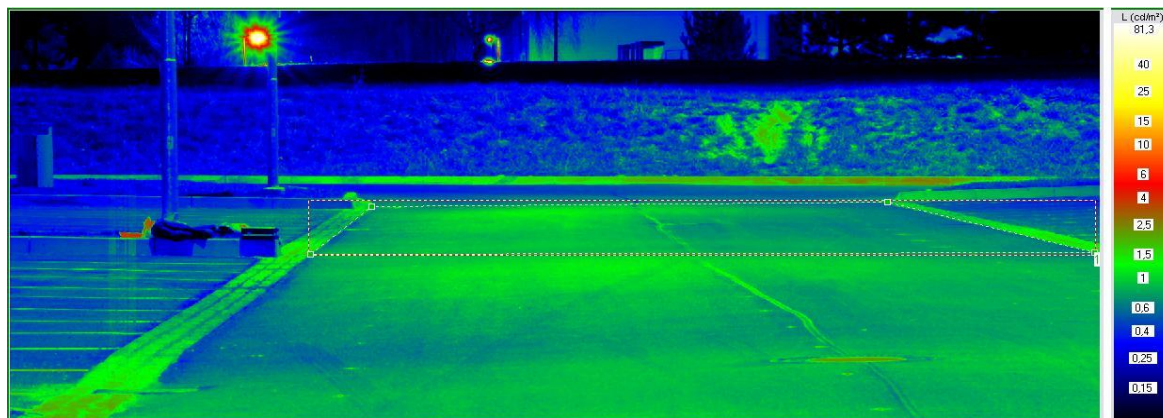
Graf 5.3 Hodnoty jasů ve výpočtových bodech



Graf 5.4 Hodnoty jasů ve výpočtových bodech

Dálková světla automobilu:

Následující snímek, pořízen měřicím přístrojem LMK mobile advance, zobrazuje jasové pole vozovky se zapnutými dálkovými světly automobilu (Obr. 5.10).



Obr. 5.11 vyznačené jasové pole při snímku s rozsvěšenými dálkovými světly automobilu

Po umístění výpočtových bodů do snímku byly odečteny hodnoty jasů v těchto bodech a následně zpracovány v programu Microsoft Excel. Výpočtem zjistíme střední hodnotu jasů, podélnou i celkovou rovnoměrnost pro oba jízdní pruhy (Tab. 5.5; 5.5):

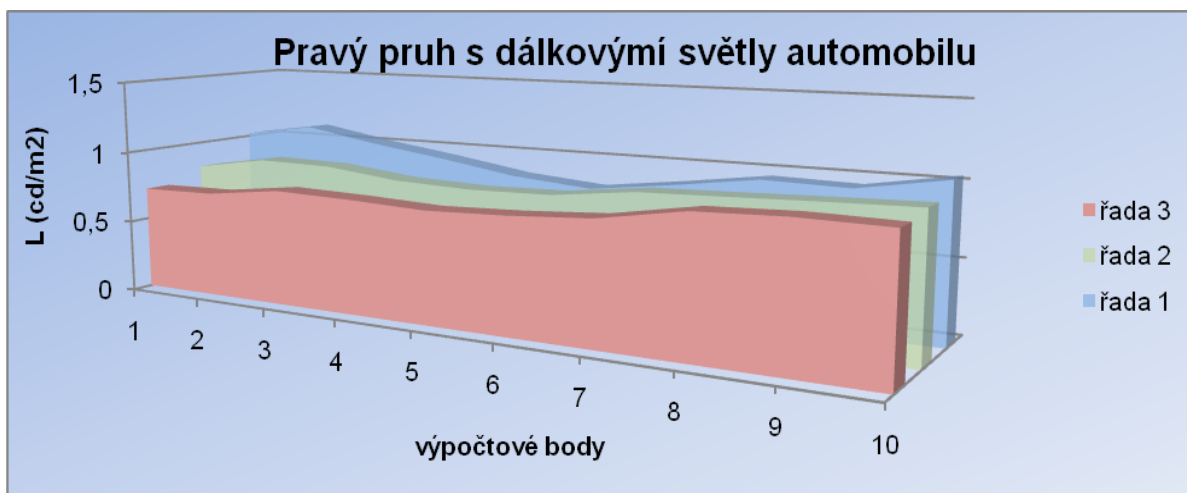
Levý pruh vozovky s dálkovými světly automobilu				
L_{\min}	L_{\max}	$L_{\text{střední}}$	Podélná rovnoměrnost	Celková rovnoměrnost
(cd/m^2)	(cd/m^2)	(cd/m^2)	(cd/m^2)	(cd/m^2)
0,7974	1,2530	1,0193	0,6364	0,7823

Tab. 5.5

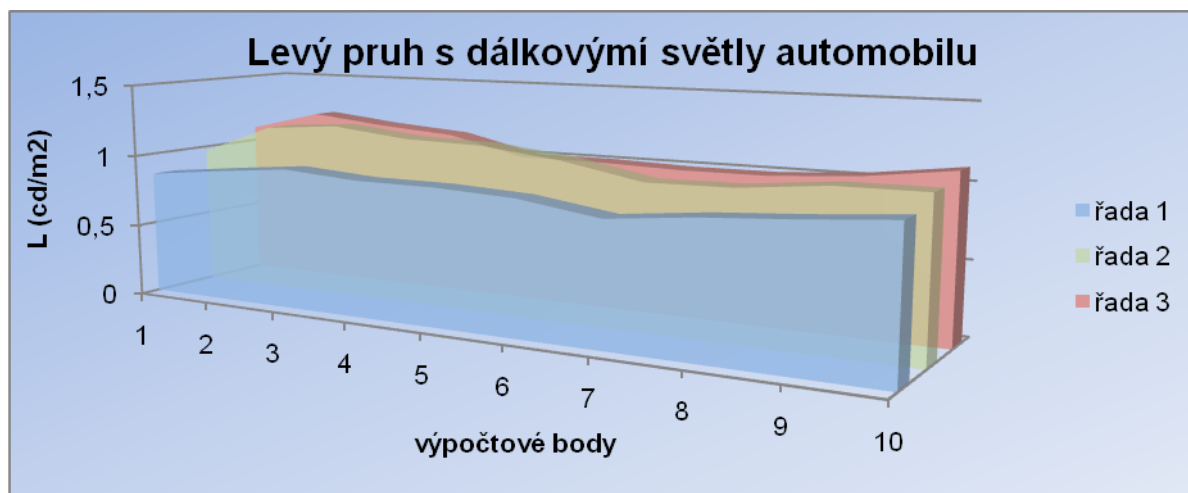
Pravý pruh vozovky s dálkovými světly automobilu				
L_{\min}	L_{\max}	$L_{\text{střední}}$	Podélná rovnoměrnost	Celková rovnoměrnost
(cd/m^2)	(cd/m^2)	(cd/m^2)	(cd/m^2)	(cd/m^2)
0,7073	1,1080	0,8819	0,6384	0,8020

Tab. 5.6

Následující grafy zobrazují hodnoty jasů ve výpočtových bodech. Řada 1 označuje první řadu výpočtových bodů a nachází se u levého okraje jízdního pruhu, řada dvě je uprostřed a řada 3 leží v pravé části jízdního pruhu



Graf 5.5 Hodnoty jasů ve výpočtových bodech

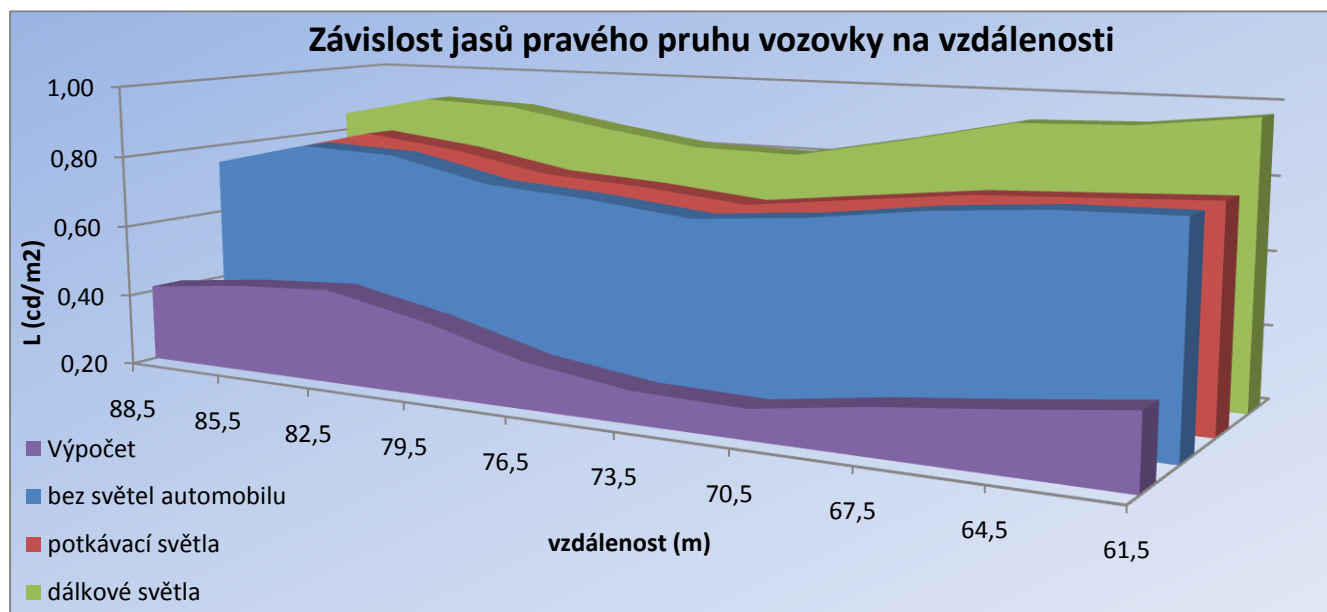
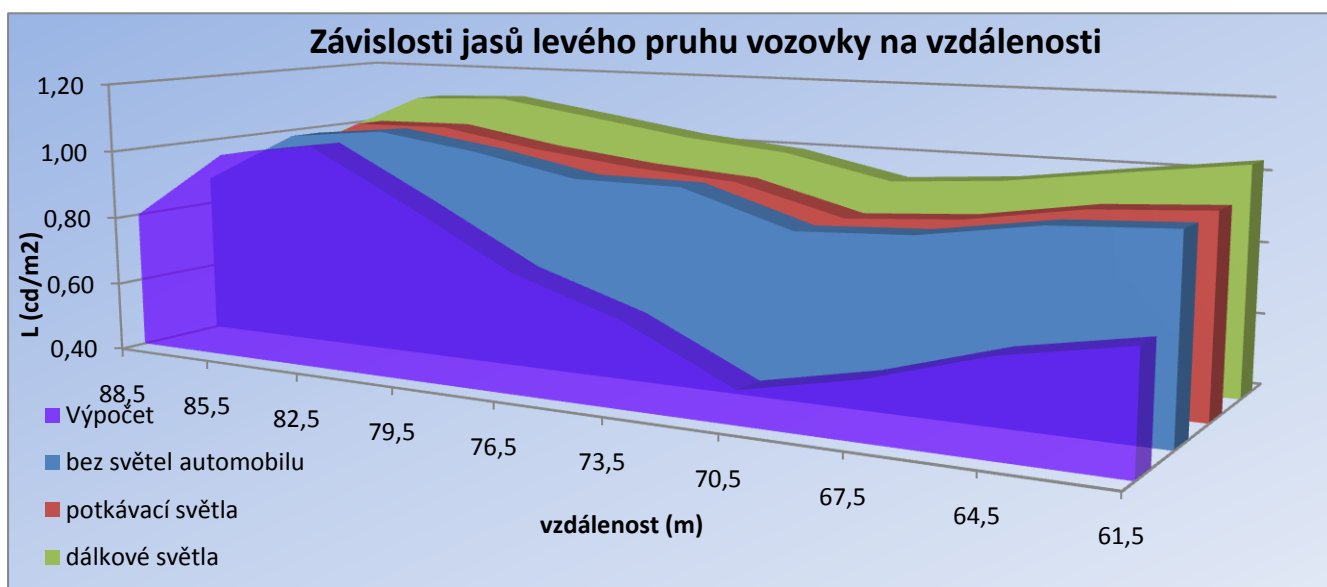


Graf 5.6 Hodnoty jasů ve výpočtových bodech

Grafická zhodnocení jasů vozovky se nacházejí v příloze této diplomové práci.

5. 4 Zhodnocení

Z následujících grafů je patrné že potkávací světla nemají žádný vliv na jasy vozovky ve vzdálenosti 60m od oka řidiče. Dálková světla však zvyšují hodnotu jasů v této vzdálenosti průměrně o 7 % v levém a dokonce o 17 % v pravém jízdním pruhu, oproti hodnotám bez rozsvícených světlometů automobilu. Průměrná vypočtená hodnota levého jízdního pruhu je o 17,5% nižší oproti skutečně naměřené hodnotě, to lze vysvětlit poměrně novou osvětlovací soustavou na komunikaci mezi budovami CPIT v níž ještě nezapůsobil udržovací činitel 0,8 se kterým program Relux počítá. U pravého pruhu je rozdíl mezi vypočtenou a naměřenou hodnotou ještě markantnější (40%), to lze vysvětlit stejně jako u levého pruhu udržovacím činitelem a dále pak odraznými vlastnostmi vozovky.



6. Oslnění

6. 1 Druhy oslnění v dopravě

Psychologické oslnění (pozorovatelné a rušivé) – nejčastěji bývá způsobené svítidly veřejného osvětlení. V dopravě by se vůbec nemělo vyskytovat, bohužel však toto není možné dodržet. Při vhodném návrhu soustavy veřejného osvětlení k fyziologickému oslnění sice nedochází, toto oslnění však způsobují reflektory protijedoucích vozidel.

Závojevé oslnění – velmi nebezpečné z hlediska dopravních nehod. Je způsobené vyšším jasným prostředím před objektem, než má samotný pozorovaný objekt. Zdrojem tohoto oslnění bývá mlha, déšť, případně dým, na kterých se světlo reflektoru automobilu rozptýlí, což způsobuje, že překážky, které jsou dále od vozu, řidič nerozezná, protože mají menší jas než prostředí před nimi. Závojevé oslnění výrazně sníží výhled a schopnost řidiče rozeznat překážku. Riziko dopravní nehody lze zmenšit přiměřeným snížením rychlosti vozidla.

Adaptační oslnění – je způsobené náhlou změnou adaptačního jasu. Může nastat například při vjezdu do tunelu. Toto oslnění je zvláště nebezpečné na komunikacích s vyšší povolenou rychlostí jízdy a s vysokou hustotou provozu. Riziko dopravních nehod lze snížit správně navrženou osvětlovací soustavou s adaptačními pásmy a s kvalitním dopravním značením[1].

6. 2 Výpočet oslnění

6. 2. 1. Činitel oslnění GR

Přímé oslnění svítidly venkovních osvětlovacích soustav se stanovuje metodou činitele oslnění *GR* (Glare Rating) podle CIE ze vzorce:

$$GR = 27 + 24 \log_{10} \left(\frac{L_{vl}}{L_{ve}^{0,9}} \right), \quad (-) \quad (6.1)$$

Kde: L_{vl} je celkový závojevý jas v $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ způsobený osvětlovací soustavou, je to součet jednotlivých závojeových jasů všech svítidel. Závojevý jas svítidla se vypočítá:

$$L_v = 10(E_{eye} \theta^2), \quad (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (6.2)$$

Kde: E_{eye} je osvětlenost (v místě) oka pozorovatele v rovině kolmé na směr pohledu (2° pod vodorovný směr) a θ je úhel mezi směrem pohledu a směrem světla dopadajícího od svítidla;

L_{ve} ekvivalentní závojevý jas pozadí v $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$. Za předpokladu, že odraz pozadí je rovnoměrně rozptýlný, lze ekvivalentní závojevý jas pozadí vypočítat takto:

$$L_{ve} = 0,035 \rho E_{hav} \pi^{-1}, \quad (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (6.3)$$

Kde: ρ je průměrný činitel odrazu a E_{hav} průměrná horizontální osvětlenost prostoru.

Činitel oslnění GR se počítat ve stejné síti kontrolních bodů jako osvětlenost v azimutálních směrech po 45° počínaje směrem rovnoběžným s délkou prostoru.

6. 2. 2. Prahový přírůstek (TI)

je měřítkem závoje jasů způsobeného omezujícím oslněním ve vztahu k průměrnému jasů povrchu vozovky. Počítá se s následujícími rovnicemi:

$$TI = \frac{65}{(\text{průměrný jas vozovky})^{0,8}} \times L_v \quad (\%) \quad (6.4)$$

$$L_v = 10 \sum_{k=1}^n \frac{E_k}{\theta_k^2} = \frac{E_1}{\theta_1^2} + \frac{E_2}{\theta_2^2} + \dots + \frac{E_k}{\theta_k^2} + \dots + \frac{E_n}{\theta_n^2} \quad (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (6.5)$$

kde:

počáteční *průměrný jas vozovky* (v cd/m^2) je průměrný jas vozovky vypočtený pro svítidla v novém stavu a pro světelné zdroje vyzařující počáteční světelný tok v lm;

L_v je ekvivalentní závoje jas ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$);

E_k je osvětlenost (lx, založená na počátečním světelném toku zdroje v lm); způsobená k -tým svítidlem v novém stavu na rovině kolmé ke směru pohledu a to ve výšce zraku pozorovatele;

Oko pozorovatele, ve výšce 1,5 metru nad úrovní vozovky, se postupně umísťuje do osy každého pruhu, a podélně ve vzdálenosti v metrech $2,75(H - 1,5)$, kde H je montážní výška svítidla před výpočtovým polem (v metrech). Linie pohledu směřuje 1° pod vodorovnou rovinu a leží v podélné svislé rovině procházející okem pozorovatele.

θ_k je úhel ve stupních oblouku mezi směrem pohledu a přímkou vedenou od pozorovatele ke středu k -tého svítidla.

Součet se provede pro první svítidlo ve směru pozorování a pro svítidla za ním, až do vzdálenosti 500 m v každé řadě svítidel, a skončí se, když příspěvek závoje jasů jakékoli svítidla v té řadě je menší než 2% celkového závoje jasů předchozích svítidel v té řadě. Svítidla nad mezní rovinou, která je vůči vodorovné rovině skloněna pod úhlem 20° , prochází okem pozorovatele a protíná komunikaci v příčném směru, se z výpočtu vyloučí.

Výpočet se zahájí s pozorovatelem v počáteční poloze, jak je popsáno výše, a opakuje pro pozorovatele pohybujícího se dopředu v krocích, které jsou co do počtu i vzdálenosti stejné jako podélná rozteč bodů pro výpočet jasů. Postup se opakuje s pozorovatelem umístěným v ose

každého jízdního pruhu, přičemž se v každém případě použije *počáteční průměrný jas vozovky* odpovídající poloze pozorovatele. Největší nalezená hodnota TI je rozhodující hodnotou.

Tato rovnice platí pro $0,05 < \text{průměrný jas vozovky} < 5 \text{ cd/m}^2$ a $1,5 < \theta_k < 60$ úhlových stupňů. Konstanta 10 v rovnici (6.5) platí pro pozorovatele starého 23 let. Konstanty pro jiná stáří je dají spočítat z formule[2]:

$$9,86 \cdot \left[1 + \left(\frac{A}{66,4} \right)^4 \right] \quad (6.6)$$

kde A je věk pozorovatele v rocích.

V případě měření mezi budovami CPIT vyhodnoceného v této diplomové práci se hodnota prahového přírůstků TI , vypočteného pomocí programu Relux Professional 2007 rovná 4%.

6. 3 Možnosti omezení oslnění

Omezit nepříznivé a především nebezpečné oslnění můžeme především těmito způsoby:

- a) správný návrh provoz a údržba osvětlovací soustavy
- b) regulací osvětlovacích soustav
- c) vhodnou instalací a nasměrováním svítidel

Pro omezení oslnění je nutné nasměrovat svítidla tak, aby hlavní paprsek žádného ze svítidel směřujících na kteréhokoli potenciálního pozorovatele neměl elevační úhel větší než 70° . Je třeba si uvědomit, že čím vyšší je montážní výška, tím menší elevační úhel je postačující. Navíc při vhodném nasměrování svítidla zamezíme i světelnému přesahu[5].

7. Závěr

Praktickým provedením výpočtu pomocí programu Relux professional 2007 bylo ověřeno, že návrh osvětlení komunikace mezi budovami CPIT je provedený správně. Dle výpočtu je minimální hodnota udržované osvětlenosti rovná 15,9 lx a celková rovnoměrnost 0,41, což vyhovuje minimálním požadavkům pro komunikaci třídy CE 4.

Následným měřením byly zjištěny rozdíly jasů i osvětlenosti při zapnutých potkávacích a dálkových světlometů automobilu. Porovnání výpočtu a výsledků měření bylo zjištěno, že naměřené hodnoty průměrných jasů jsou v pravém jízdním pruhu o 17,5% a v levého dokonce o 40% vyšší než vypočtené hodnoty. Tento rozdíl je způsoben především tím, že měřená soustava je poměrně nová a tudíž zatím nepůsobí udržovací činitel (0,8) a také odrazné vlastnosti komunikace nelze s úplnou přesností namodelovat.

S naměřených hodnot v levém jezdícím pruhu komunikace je patrné, že potkávací světla automobilu ovlivňují především první 2/3 délky měřené komunikace (do 60m) a naopak vliv dálkových světel se výrazněji projevuje až v poslední třetině délky vozovky (posledních 30m). Přírůstek hodnoty jasů odpovídá teoretickému předpokladu, že do vedlejšího jízdního pruhu by měly potkávací světla zasahovat jen částečně. Přesto se hodnota jasů v první třetině délky vozovky zvýší o 35% oproti stavu bez světel automobilu. Vliv potkávacích světel však postupně klesá a ve druhé třetině vzdálenosti od automobilu je přírůstek jasů roven 13% a na posledních 30 metrech zkoumané komunikace již potkávací světla nemají žádný vliv. Zvýšení hodnot jasů dálkovými světly se v prvních 2/3 vzdálenosti od vozidla pohybuje okolo 2%, což odpovídá chybě měření. Patrný vliv dálkových světel je až v poslední třetině kdy se hodnoty jasů zvýší průměrně o 8% oproti hodnotám bez automobilových světlometů.

Taktéž v pravém jízdním pruhu, tedy v pruhu kde se nachází automobil, potkávací světla ovlivňují hodnoty jasů do 2/3 délky vozovky (60m), zatímco dálkové světla pouze poslední třetinu. Přírůstek jasů na prvních 30m před vozidlem dosahuje až 3,5 násobku ($2,4 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$) průměrné hodnoty jasů komunikace osvětlené pouze veřejným osvětlením. Vliv potkávacích světel opět klesá se vzdáleností, avšak na rozdíl od vedlejšího jízdního pruhu ve druhé třetině zkoumané vozovky jsou hodnoty jasů ještě o 50% vyšší oproti hodnotám bez světel automobilu. Ve vzdálenostech 60m a výše již potkávací světla v podstatě nemají vliv na hodnotu jasů, což odpovídá teoretickým předpokladům. Dálkové světla, stejně jako ve vedlejších pruhu, ovlivňují hodnoty jasů až v poslední třetině vozovky, kdy se hodnota jasů zvětší oproti hodnotě bez světel automobilu o 17%. Také toto odpovídá teoretickým předpokladům.

Vliv automobilových světlometů na hodnoty osvětlenosti není tak patrný jako u hodnot jasů. Patrný nárůst je pouze v prvních 20 metrech před vozidlem kdy hodnoty osvětlenosti dosahují průměrně hodnoty o 52% u dálkových a o 15% u potkávacích světel vyšší oproti naměřeným hodnotám bez světel automobilu.

Z těchto hodnot vyplývá, že jak potkávací tak dálkové světla mají podstatný vliv na jasové poměry na komunikacích. Zdánlivě se proto nabízí možnost snížení parametru instalovaného veřejného osvětlení o hodnoty nárůstu vlivem automobilových světlometů. Komunikace nejsou však využívány pouze automobily ale také cyklisty a především chodci. Proto s hlediska bezpečnosti provozu nemůže být využito při navrhování osvětlovací soustav na komunikacích, příznivých vlastností automobilových světlometů na jasové poměry komunikací.

8. Seznam použité literatury

- [1] Habel, J.: Světelná technika a osvětlování, FCC Public, 1995
- [2] ČSN EN 13201 – 1 Osvětlení pozemních komunikací - Výběr tříd osvětlení
- [3] ČSN EN 13201 – 2 Osvětlení pozemních komunikací - Výkonnostní požadavky
- [4] ČSN EN 13201 – 3 Osvětlení pozemních komunikací – Výpočet výkonnostních parametrů
- [5] Karel Sokanský a kolektiv, Racionalizace v osvětlování venkovních prostor, Ostrava 2005
- [6] Karel Sokanský a kolektiv, Metodické pokyny pro obnovu, provoz a údržbu veřejného osvětlení, Ostrava 2008
- [7] Karel Sokanský a kolektiv, Úspory elektrické energie na veřejné osvětlení, Ostrava 2002
- [8] Lighting Engineering 2002, Indalux Technical lighting, 2002
- [9] Gašparovský Dionýz, Smola Alfonz, Špecifické problémy klasifikácie tried osvetlenia podľa normy pre verejná osvetlenie, Kurz osvetľovací techniky XXV
- [10] Aleš Káňa, Měření a výpočty parametrů automobilových světlometů, diplomová práce, VŠB-TU Ostrava 2008
- [11] Manual LMK mobil advance, TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH, 2006
- [12] Operation Manual LMK 2000
- [13] Plch, J.: Světelná technika v praxi. IN-EL spol. s.r.o., Praha 1999
- [14] < <http://en.wikipedia.org/wiki/Headlamp> > [cit. 2010-5-4]

9. Přílohy